

Diplomarbeit

Entwicklung einer innovativen Fahrradabstellmöglichkeit in Schienenfahrzeugen

eingereicht an der
Fakultät Kraftfahrzeugtechnik der
Westsächsischen Hochschule Zwickau
zur Erlangung des akademischen Grades eines

Diplomingenieurs (FH)

vorgelegt von: cand. ing. **P r e s i a , F l o r i a n** Geb. am: 18.06.1996

Studiengang: Kraftfahrzeugtechnik
Studienschwerpunkt: Kraftfahrzeuge und Mechatronik

Ausgegeben von:	Prof. Felix Becker
Erstbetreuer / Zweitbetreuer:	Prof. Felix Becker / Dr. Lutz Weißbach
Auftraggeber:	Alstom Transportation Germany GmbH
Betreuer des Auftraggebers:	Philipp Radke, Holger Martens

Selbstständigkeitserklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Zuhilfenahme anderer als die angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Sämtliche Stellen in der Arbeit, die im Wortlaut oder im Sinn aus anderen veröffentlichten und nicht veröffentlichten Werken entnommen sind, sind als solche im Quellenverzeichnis gekennzeichnet.

Weiterhin versichere ich, dass diese Arbeit noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt wurde.

Ludwigsfelde, den 09.07.2023

Ort, Datum



Florian Presia

Kurzzusammenfassung

Die vorliegende Diplomarbeit beschäftigt sich mit der Konstruktion einer innovativen Fahrradabstellmöglichkeit in Schienenfahrzeugen. Die Konstruktion findet dabei in einem von der Firma Alstom Transportation Germany GmbH vorgegebenen generischen Eisenbahnwagen statt. Ein besonderes Merkmal bei der Konstruktion ist die Hubeinrichtung mitsamt der Fahrradaufnahme. Für einen sicheren Transport ist zusätzlich eine Befestigung des Vorderrades vorgesehen. In der Arbeit werden der Stand der Technik, sowie einige Patente dargestellt. Des Weiteren werden unterschiedliche Antriebskonzepte in den Lösungsvarianten aufgezeigt. Unter der Berücksichtigung zahlreicher Aspekte und Voraussetzungen werden an die Konstruktion hohe Ansprüche gestellt. Eine Bewertung der Lösungsvarianten mittels verschiedener Kriterien schließt den konstruktiven Entwicklungsprozess ab. In der konstruktiven Umsetzung wird die präferierte Variante mit zugehörigen Dokumenten beschrieben und veranschaulicht.

Abstract

This diploma thesis deals with the design of an innovative bicycle storage in railway vehicles. The construction takes place in a generic railway carriage specified by the company Alstom Transportation Germany GmbH. A special feature of the design is the lifting device together with the bicycle holder. For a safe transport, an additional attachment of the front wheel is provided. In the paper, the state of the art as well as some patents are presented. Furthermore, different powertrain concepts are shown in the different solutions. High standards are set for the design, with numerous aspects and requirements being taken into full consideration. An evaluation of the solution variants by means of various criteria completes the constructive development process. In the constructive implementation, the preferred variant is described and illustrated with the documentation.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	III
1 Einleitung	1
1.1 Aufbau der Arbeit	2
2 Stand der Technik	3
2.1 Variante 1.....	3
2.2 Variante 2.....	5
2.3 Variante 3.....	8
2.4 Variante 4.....	9
3 Patentrecherche.....	12
3.1 Einteilung der Patente.....	12
4 Randbedigungen.....	17
4.1 Zusammenfassung und weiteres Vorgehen	20
5 Konstruktive Entwicklung der Fahrradhalterung	21
5.1 Anforderungsliste	21
5.2 Funktionsplan.....	21
5.2.1 Funktionsstruktur.....	23
5.2.2 Funktionsprinzip	25
5.3 Bewertungskriterien und Wichtung	26
5.3.1 Bewertungskriterien	26
5.3.2 Wichtung der Kriterien.....	27
5.4 Kombination verschiedener Wirkprinzipien.....	28
5.4.1 Erstellen eines Ordnungsschemas.....	28
5.5 Lösungsvarianten und Bewertung	31
5.5.1 Variante 1 - Seilzugsystem.....	31
5.5.2 Variante 2 - Flachriemensystem.....	33
5.5.3 Variante 3 - Spindeltriebssystem.....	35
5.5.4 Erklärung der Funktion – Seitliche Verschiebung	37

5.5.5	Bewertung und Auswahl der Lösungsvarianten.....	39
6	Konstruktive Gestaltung	40
6.1	Gesamtaufbau	40
6.2	Beschreibung der einzelnen Module	43
6.2.1	Hubmodul	43
6.2.2	Fahrradmodul.....	45
6.2.3	Vorderradmodul	46
6.3	Funktion und Benutzung	47
6.4	Konstruktionskritik	52
6.4.1	Beurteilung der Konstruktion	52
6.4.2	Nachteile und Änderungsvorschläge.....	53
6.4.3	Beschreibung der Änderungsvorschläge.....	54
7	Zusammenfassung und Ausblick.....	57
	Verzeichnis der Bilder	58
	Verzeichnis der Tabellen	60
	Literatur- und Quellenverzeichnis	61
	Verzeichnis der Anlagen	63
	Anlagen.....	64
A	Inhalte des USB-Sticks	64
B	Anforderungsliste.....	65
C	Bewertungsmatrix	70
D	Ordnungsschemen der Lösungsvarianten	71
E	Technische Zeichnungen und Stückliste.....	75

Abkürzungsverzeichnis

CO ₂	Kohlenstoffdioxid
PKW	Personenkraftwagen
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
DPMA	Deutsches Patent- und Markenamt
IC	Intercity (Zuggattung der DB)
DB	Deutsche Bahn AG
E-Bike	Elektrofahrrad
SUV-E-Bike	Sports Utility Vehicle - Elektrofahrrad
CFK	Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff
Geh.	Gehäuse

1 Einleitung

Um das Leben auf der Erde nachhaltig zu schützen und das international beschlossene Ziel die Erderwärmung auf 1,5 °C zu begrenzen, müssen weitreichende Maßnahmen getroffen werden. Der Verkehrssektor trägt massiv zu den allgemeinen CO₂ Emissionen bei. In Deutschland liegt der Anteil vom Verkehrssektor bei 19,4 %, Stand 2021 [1]. Schienengebundene Fahrzeuge können dabei eine entscheidende Rolle spielen diese Emissionen im Verkehrssektor zu verringern. Verglichen mit dem PKW wird die Fahrgastkapazität maximiert, bei verhältnismäßig geringeren Energieaufwand. Bezogen auf den Energieverbrauch und den Emissionen sind Schienenfahrzeuge dem Individualverkehr deshalb im Vorteil. Zu den Emissionen im Verkehrssektor trägt der Individualverkehr mit 71,7 % die Hauptlast, wohingegen der Eisenbahnsektor mit nur 0,4 % die wenigsten CO₂ Gase im Verkehrssektor emittiert [2]. Die steigende Präsenz des Fahrrades im Verkehrsbild sorgt für ein Umdenken in der Verkehrsplanung. Um den PKW-Verkehr in Städten und Ballungsräumen zu reduzieren muss das Radfahren noch attraktiver und sicherer gestaltet werden. Die Kombination von Fahrrad und ÖPNV darf dabei nicht ignoriert werden, um das Verkehrsmittel Fahrrad für weitere Entfernungen attraktiv machen zu können.

Der zunehmende Radverkehr sorgt automatisch für einen Anstieg der zu transportierenden Fahrräder in Zügen. Mit den allgemein wachsenden Passagierzahlen im ÖPNV erreichen die Züge schnell ihre Kapazitätsgrenzen. Passagiere, Gepäck und Fahrräder müssen sich den Platz im Eisenbahnwagen teilen. Hinzu kommt, dass der Platz im Zug durch die Zuglänge, das Lichtraumprofil, die Sitzplatzanzahl und die Innenausstattung limitiert ist. Je nach Verwendungszweck und Fahrzeugtyp unterscheiden sich die jeweiligen Anforderungen stark. Im Nah- und Pendelverkehr mit kurzen Fahrzeiten und häufigen Halten findet ein kontinuierlicher Fahrgastaustausch statt. Fahrräder können in solchen Situationen durch den höheren Platzbedarf zu Komplikationen und Störungen führen. Im Regional- und Fernverkehr wiederum müssen Fahrräder für längere Strecken und bei höheren Geschwindigkeiten mit gleichbleibenden Reisekomfort sicher verwahrt werden.

Diese Diplomarbeit befasst sich mit der Konstruktion einer innovativen Fahrradabstellmöglichkeit in Schienenfahrzeugen und wie diese die heutigen Ansprüche erfüllen kann. Die Zielsetzung der Arbeit ist es mit der Konstruktion aufzuzeigen, dass mit flexiblem Design auf Auslastungsschwankungen reagiert und unterschiedlichste Fahrradtypen in Größe und Gewicht berücksichtigt werden können.

In dieser Arbeit werden die am Markt erhältlichen Lösungen analysiert und durch eine Neukonstruktion den veränderten Marktbedingungen angepasst.

1.1 Aufbau der Arbeit

Zu Beginn der Arbeit werden aktuelle Lösungen vorgestellt und analysiert. Die Analyse bezieht sich dabei auf grundlegende Faktoren, wie u.a. Flexibilität, Sicherheit und Kosten. Im zweiten Kapitel werden die Rahmenbedingungen erläutert und in einer Anforderungsliste zusammengetragen. Als Umgebung der Neukonstruktion dient ein von Alstom Transportation Germany GmbH vorgegebener generischer Wagentyp. Im Entwicklungsprozess werden die grundlegenden Funktionen aus der Anforderungsliste herausgearbeitet. Durch das Aufstellen von Bewertungskriterien wird eine Vergleichbarkeit zwischen den Lösungsvarianten hergestellt. Verschiedene Lösungen und Prinzipien der einzelnen Funktionen werden in einem Ordnungsschema aufgelistet. Das Ordnungsschema dient der Übersicht und Bildung von verschiedenen Kombinationsmöglichkeiten. Drei verschiedene Ergebnisse aus dem Ordnungsschema werden anhand von Lösungsvarianten dargestellt und unter Verwendung der Bewertungskriterien gegenübergestellt. Die Lösungsvariante, die die Kriterien bestmöglich erfüllt wird im anschließenden Designprozess konstruktiv umgesetzt. Anhand von 3D Grafiken werden detailliert Funktionen und Besonderheiten beschrieben. Abschließend folgt eine Konstruktionskritik, in der der entwickelte Fahrradhalter beurteilt wird. Mögliche Probleme und Änderungsvorschläge werden aufgelistet und beschrieben.

2 Stand der Technik

Im Eisenbahnwesen gibt es in Personenwagen eine Vielzahl an verschiedenen Fahrradabstellmöglichkeiten. In Regional- und Nahverkehrszügen werden Fahrräder meist in Mehrzweckabteilen untergebracht. Fahrräder teilen sich den Platz mit Passagieren, Gepäck, Rollstühlen, Kinderwagen und Sperrgut, wie Skier. Hinzu kommen die barrierefreien Toiletten, die den Platz in den Mehrzweckabteilen zusätzlich reduzieren. Wichtige Faktoren, bei der Evaluierung eines Mehrzweckabteils sind also Flexibilität, Platzverbrauch, Multifunktionalität und Sicherheit. Bei den Fahrradabstellmöglichkeiten muss zusätzlich auf eine gute Bedienbarkeit geachtet werden, um jeder Fahrgastgeneration einen leichten Umgang zu garantieren. Durch längere Züge und eine größere Verteilung der Passagiere, können im Fernverkehr die Fahrräder in von den Sitzplätzen abgesonderten Bereichen untergebracht werden. An diese Bereiche werden wie an das Mehrzweckabteil im Nahverkehr ähnliche Anforderungen gestellt.

Nachfolgend werden aktuelle Varianten der Fahrradunterbringung in Nah- und Fernverkehrszügen vorgestellt und nach den wichtigsten Faktoren Flexibilität, Stellplatzanzahl, Platzverbrauch, Sicherheit, Transportschutz, Bedienbarkeit, Zeitaufwand und Kosten analysiert und bewertet.

2.1 Variante 1

Bei dieser Variante handelt es sich um das gängigste System im deutschen Nahverkehr. In den Mehrzweckabteilen sind an den Fahrzeugwänden jeweils eine Reihe Klappsitze verbaut (Bild 1, S. 4). In erster Linie dienen die Mehrzweckabteile der Mitnahme von Fahrrädern, Rollstühlen und Kinderwagen. Werden zu einem Zeitpunkt beispielsweise wenig Fahrräder befördert, können Passagiere auf den Klappsitzen platznehmen. Wird der Platz wieder benötigt, klappt der Sitz hoch und Fahrräder können abgestellt werden.

Zur Mitnahme wird das Fahrrad seitlich an die hochgeklappten Unterseiten der Sitze gelehnt. Reihensitze oder Trennwände begrenzen den Platz zum Abstellen der Fahrräder in Fahrzeuglängsrichtung und halten sie zusätzlich vom wegrollen ab. Bei großen Mehrzweckabteilen finden zwei bis vier Fahrräder hintereinander Platz, bei kleineren lediglich nur ein Fahrrad. Um den Platz bestmöglich auszunutzen müssen mehrere Fahrräder an derselben Position aneinander gelehnt werden. Für die Begrenzung quer zur Fahrtrichtung sorgt der Fluchtweg, der stets freigehalten werden muss. Vereinzelt werden an dieser Stelle auch vertikale Haltestangen montiert. Pro Position reicht der Platz für etwa vier bis fünf Fahrräder, die aneinander gelehnt sind. Zum Schutz gegen Umfallen bei der Fahrt gibt es unterschiedliche Ansätze. Häufige Verwendung findet ein längenverstellbarer

Rollgurt, der die Fahrräder umschlingt und an dafür vorgesehene Ösen eingehängt wird. Bei der Positionierung der Ösen gibt es zum einen die Seitenwand oder die Sitzrückenlehne und zum anderen die Unterseite der Sitzfläche. Individuell gibt es auch die Variante mit Halteösen ohne Gurt, bei denen stattdessen eigene Spanngurte verwendet werden können.



Bild 1: Mehrzweckabteil in Regionalzügen

Die Variante 1 besitzt durch das schlichte Design ein hohes Maß an Flexibilität. Der vorhandene Platz kann vielseitig verwendet werden und bietet sogar Möglichkeiten zum Sitzen. Eine Anzahl von bis zu fünf Stellplätzen bei wenig Platz, bis maximal 20 Stellplätze bei sehr großen Abteilen zeigt die hohe Variation dieser Option. Die seitige Anordnung der Stellflächen sorgt für einen geringen Platzverbrauch in der Querrichtung, jedoch einen erhöhten Platzbedarf in der Längsrichtung. Aufgrund der geringfügigen Sicherung neigen die Fahrräder zu Eigenbewegungen und können sich im Crashfall unkontrolliert verhalten. Der größte Nachteil bei dieser Art der Unterbringung entsteht im Transportschutz. Da die Fahrräder dicht an dicht mit Kontakt aneinandergestellt werden müssen, sind Beschädigungen sehr wahrscheinlich. Hinzu kommen die Fahrzeugbewegungen, die die Fahrräder zusätzlich anregen. Diese Art des Fahrradtransports ist für hochpreisige Zweiräder ungeeignet. Positiv zu erwähnen ist die einfache Handhabung, da das Fahrrad lediglich an die Sitzreihe gestellt werden muss, was dadurch auch eine immense Zeitersparnis bedeutet. Steigt die Zahl der zu transportierenden Fahrräder, sinkt die resultierende Zeitersparnis. Ein kontinuierlicher Fahrgastaustausch führt häufig zu

organisatorischen Komplikationen, wenn Fahrräder beiseitegestellt werden müssen, um das an der Sitzreihe lehrende Fahrrad zu erreichen. Bei hohem Passagieraufkommen kommt es dadurch zu verlängerten Haltezeiten im Bahnhof. Die Einfachheit dieser Fahrradabstellmöglichkeit hält die Baukosten gering. Lediglich die Gurte und Ösen sorgen für Kosten. Betriebskosten fallen in erster Linie durch Verschleiß an. Treten starke Gebrauchsspuren an der Unterseite der Sitzflächen auf oder die Sicherungsgurte und Ösen haben Schaden genommen fallen Wartungskosten an.

2.2 Variante 2

Die zweite Variante verfügt neben dem Abstellplatz im Mehrzweckabteil über ein zusätzliches Gestell als Halterung für das Vorderrad. Das Gestell umfasst einen Haken, seitliche Führungen und eine Rückwand. Zur Verwendung wird zuerst das Vorderrad mit der Felge in den Haken eingehängt. Als zweites stößt der Reifen gegen die Rückwand und wird beidseitig von den Führungen gehalten. Das Hinterrad steht frei auf dem Fahrzeugboden. Vom Fahrzeug ausgehende Dynamik wird nur minimal an die Fahrräder übertragen.

Im Fahrzeug wird das Gestell im unteren Drittel der Fahrzeuginnenhöhe montiert und gewährleistet dadurch eine gute Erreichbarkeit. Wahlweise wird die Halterung in Fahrzeuginnenachse oder spitzwinklig zu dieser verbaut.

Einen in Fahrzeuginnenachse verbauten Halter zeigt Bild 2. Zu sehen ist der identische Platzverbrauch von zwei Haltern und zwei Reihensitzen. Dementsprechend können jeweils zwei Halter seitlich des Mittelgangs installiert werden.



Bild 2: Längsausgerichteter Fahrradhalter

Die gewinkelte Ausführung (Siehe Bild 3, S. 6) wird meistens mehrfach nebeneinander entlang der Fahrzeugseitenwand montiert. Detailliert betrachtet ist jeder zweite Halter in der Höhe versetzt. Infolge dessen können die Fahrräder enger zusammenstehen, da sich die

Lenker gegenseitig nicht mehr beeinträchtigen. Klappsitze oder seitlich angeordnete Reihensitze sind gezwungenermaßen auf der gegenüberliegenden Seite zu installieren.



Bild 3: Spitzwinklig ausgerichteter Fahrradständer in Kombination mit Sitzen [3], [4]

Eine andere Möglichkeit zeigt die Designstudie im Bild 4. Hier wird die Halterung an der Unterseite eines Klappsitzes geschraubt. Mittels dieser Kombination wird ein hohes Maß an Flexibilität und sicheres Verstauen von Fahrrädern erreicht.



Bild 4: Designstudie eines Fahrradhalters für Klappsitze

Mit dieser Variante wird ein ähnlich hohes Maß an Flexibilität erreicht, wie bei der Variante 1. Dennoch sind konstruktionsbedingt durch die nur einseitige Bestuhlung Abstriche bei der Sitzplatzanzahl zu machen. Darüber hinaus bietet diese Variante neben Passagieren und Fahrrädern weitere Transportmöglichkeiten. Die Anzahl der Stellplätze hängt von den im Fahrzeug befindlichen Halterungen ab. Auf einer Länge von etwa fünf Klappsitzen, können bei der gewinkelten Ausführung bis zu acht Fahrräder abgestellt werden (Siehe Bild 3 links). Die längsausgerichtete Version aus Bild 2, S. 5, zeigt, dass auf einer Länge von etwas mehr als ein Fenster insgesamt vier Fahrräder Platz finden. Dabei sind jeweils zwei Stellplätze

seitlich des Mittelgangs vorgesehen. Der Vergleich im Bild 5 zeigt, dass mit jeweils vier Fahrrädern auf der Breite eines Fensters ein identischer Platzverbrauch entsteht. Bei einer Ausrichtung der Halterung, wie im Bild 5 rechts, entsteht zusätzlich die Möglichkeit Sitzplätze auf der gegenüberliegenden Wagenseite zu installieren. Die Fixierung des Fahrrades im Gestell sorgt für ein hohes Maß an Sicherheit und wenig Eigenbewegung. Die Fahrräder bleiben bei allen Fahrtbedingungen am selben Ort und werden nicht zu einer zusätzlichen Gefahr im Crashfall. Der Höhenunterschied jedes zweiten Halters verspricht einen guten Transportschutz. Gegenseitige Berührungen der Fahrräder und dadurch entstehende Beschädigungen werden im Vorhinein verhindert. Angesichts der selbsterklärenden Konstruktion des Gestells erweist sie sich als sehr bedienerfreundlich und darüber hinaus als sehr zeitsparend beim Verstauen der Fahrräder. Bei den unterschiedlichen Anordnungen der Halterungen ergeben sich bei der Längsausrichtung Nachteile bezüglich des Zeitaufwandes. Aufgrund der parallelen Anordnung der beiden Fahrräder, ist das hintere Fahrrad, vom Mittelgang aus betrachtet, schwer erreichbar. Demzufolge muss bei unterschiedlichen Zu- und Ausstiegen zunächst das vordere Fahrrad den Platz räumen. Daraus ergibt sich ein höherer Zeitaufwand, als bei der nebeneinander angeordneten Variante. Wegen der fortlaufenden Anordnung entlang der Fahrzeugseite, resultiert für jedes Fahrrad eine identische Erreichbarkeit und ein damit einhergehender Zeitvorteil beim Zu- und Aussteigen. Im Vergleich zur Variante 1 ergeben sich Mehrkosten durch das Gestell. Dem gegenüber sind die laufenden Kosten für Wartung und Reparatur angesichts der Robust- und Einfachheit der Halterung sehr gering.



Bild 5: Platzverbrauch bei unterschiedlicher Halterpositionierung; Bild rechts: [5]

2.3 Variante 3

Der wesentliche Unterschied der dritten Variante zu den bereits vorgestellten Varianten 1 und 2 besteht in der senkrechten Transportposition der Fahrräder (Siehe Bild 6, S. 9). Im oberen Drittel des Fahrzeuginnenraumes wird dazu eine Halterung installiert. Der Aufbau ähnelt dem Gestell aus Variante 2. Bei Variante 3 hingegen ist die gesamte Halterung in zwei separate Module aufgegliedert. Der erwähnte obere Teil für das Vorderrad beinhaltet einen Haken und eine Rückwand. Die Funktion beider Bauteile gleicht der aus Variante 2. Der zweite Teil der Halterung ist eine Rückwand für das Hinterrad, welche sich im unteren Drittel des Innenraums, senkrecht zum oberen Halter befindet. Damit das Hinterrad in Position bleibt, ist entweder einen Gurt oder ein Bügel verbaut. Der Gurt umschlingt die Felge und befestigt das Hinterrad auf der Rückwand. Bewegungen bei auftretenden Querkräften werden somit verhindert. Bei dem Bügel handelt es sich lediglich um seitliche Begrenzungen des Hinterrads. Dadurch werden Pendelbewegungen unterbunden. Im Gegensatz zu dem Gurt ist das Hinterrad bei dem Bügel nicht fest mit der Rückwand befestigt. Um ein Berühren der Lenker zu vermeiden, ist diese Halterung spitzwinklig zur Fahrzeuginnenraumachse angeordnet.

Mehrere Möglichkeiten ergeben sich bei der Anordnung der Halterungen. So variiert die Anzahl und Positionierung zwischen verschiedenen Fahrzeugen und Herstellern. Die maximalen Stellplätze werden bei beidseitiger Anordnung erzielt. Da bei den Halterungen aufgrund der Fahrräder ein Mindestabstand eingehalten werden muss, hängt die Anzahl an Stellplätzen vom Interieur und den dadurch zur Verfügung stehenden Platz ab. So können beispielsweise Trennwände oder Reihensitze die Anzahl an Halterungen reduzieren. Eine einseitige Anbringung der Halterungen ermöglicht auf der anderen Fahrzeugseite ausreichend Platz für Reihensitze. Durch die zahlreichen Variationen ist eine hohe Flexibilität gegeben. Anders als bei Variante zwei ermöglicht die vertikale Transportposition der Fahrräder einen freien Mittelgang und hält den Platzverbrauch niedrig. Der freie Mittelgang sorgt auch bei vollbesetzten Fahrradabteil für ein hohes Maß an Sicherheit. Aufgrund der Tatsache, dass alle Fahrräder in einem eigenen Stellplatz gesichert sind, finden keine gegenseitigen Berührungen statt und Beschädigungen beim Transport sind ausgeschlossen. Dementsprechend ist ein hoher Transportschutz gewährleistet.

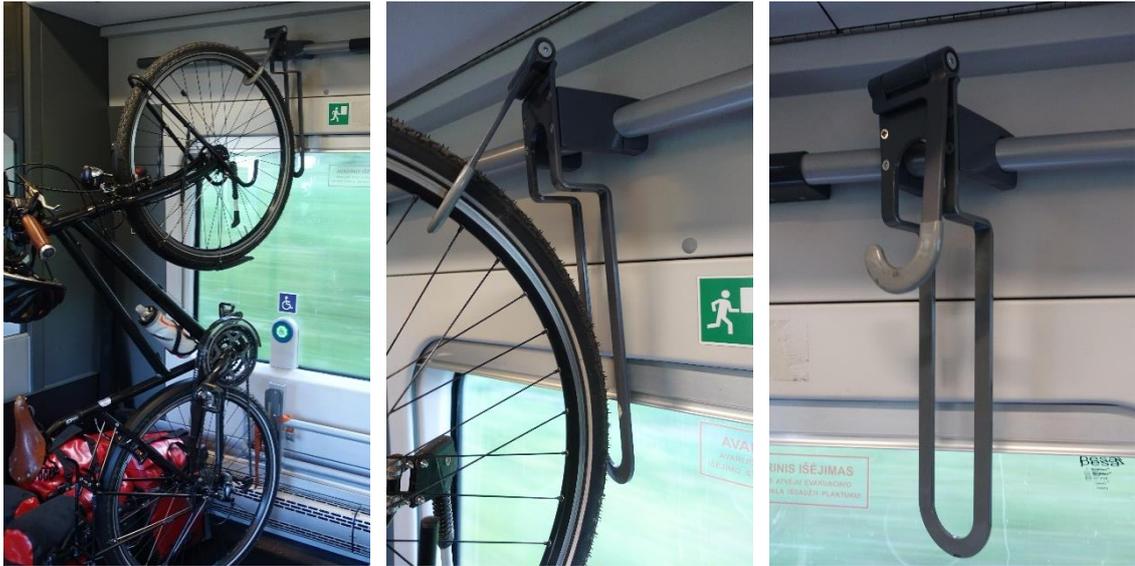


Bild 6: Beispiel für die Variante 3

Der größte Nachteil dieser Variante liegt bei der Benutzung. Da das Fahrrad ausschließlich in den Haken gehoben werden kann, entstehen bei einem schweren E-Rad große Probleme für beispielsweise ältere Menschen. Die Höhe des Hakens, besonders im Zusammenhang mit dem Fahrradgewicht, kann für kleinere Menschen und besonders für Kinder zum Problem werden. Das Einhängen der Fahrräder dauert durch das Anheben gerade bei schweren Fahrrädern im Vergleich zu bodennahen Halterungen etwas länger. Der höhere Materialaufwand durch die zweiteilige Halterung erhöht die Kosten bei der Herstellung und Montage. Laufende Kosten können gleich der zweiten Variante durch die einfache Konstruktion geringgehalten werden.

2.4 Variante 4

Die vierte Variante stellt einen Fahrradlift dar. Es handelt sich hierbei um ein Konzept der Firma Seisenbacher, ein Innenausstatter für Schienenfahrzeuge. Bei dem Konzept wurde neben der Funktionalität auch auf ein durchdachtes Design geachtet. Das zentrale Bauteil bei diesem Halter ist die vertikale Stütze. Um das Fahrrad zu verstauen, muss das Vorderrad in eine Art Käfig gestellt werden. Der Käfig enthält eine vertikale Rückwand, an der zwei Reifenklemmen federnd befestigt sind. Das Vorderrad wird gegen die Rückwand gerollt und stützt sich gleichzeitig auf einer horizontalen Strebe ab. Der Reifen muss zwischen die Reifenklemmen gedrückt werden, die durch Federkraft den Reifen an der Flanke einspannen. Die horizontale Strebe wird ebenfalls an der Rückwand befestigt und umgibt den Reifen (Siehe Bild 7, S. 10).



Bild 7: Vorderradhalterung des Fahrradhalters von Seisenbacher

Bei dieser Halterung befindet sich das Fahrrad wie bei der dritten Variante ebenfalls in einer vertikalen Transportposition. Für das Hinterrad befindet sich in Bodennähe ein Korb, der es in Position hält. Während der Käfig für das Vorderrad durch den Lift in der Höhe verstellbar ist, ist der Hinterradkorb starr am senkrechten Pfosten befestigt. In dem senkrechten Pfosten des Halters befindet sich der Antrieb und die Bedienung für den Lift. Auf Kopfhöhe ist ein Bildschirm installiert, mit dem die Steuerung überwacht und bedient wird. Das Fahrrad wird mit dem Lift automatisch in eine vertikale Position gebracht (Siehe Bild 8).



Bild 8: Transportstellung der Fahrradhalterung von Seisenbacher

Aufgrund der Konzeptionierung als reiner Fahrradlift, bietet die Halterung keine weiteren Anwendungsbereiche. Dementsprechend ist die Multifunktionalität eingeschränkt. Einzig

die Anordnung und die Kombination mit Sitzplätzen, gleich den vorherigen Varianten, lässt sich mehr Flexibilität erreichen. Wie bei der vorgestellten Variante 3 hängt der nutzbare Platz von der gesamten Anzahl an Stellplätzen ab. Anders als bei Variante drei sorgt der vertikale Pfosten mit dem Antrieb und die seitliche Anordnung des Lifts für einen höheren Platzverbrauch, welcher einen größeren Abstand zwischen den Haltern zufolge hat. Das wiederum wirkt sich nachteilig auf die Anzahl an Stellplätzen aus. Die vertikale Transportposition nutzt die gesamte Höhe des Fahrzeugs aus. Der sonst leere Raum im oberen Drittel des Fahrzeugs wird so zusätzlich genutzt und bietet in der Fahrzeugmitte mehr Raum für Bewegung der Fahrgäste und den Fluchtweg. Letzteres sorgt folglich für eine hohe Sicherheit. Ein freier und breiter Fluchtweg mindert die Gefahren in Extremsituationen. Zusätzlich sind die Fahrräder fest in der Halterung verankert. Eigenbewegungen werden minimiert und im Crashfall werden sie nicht zu gefährlichen Gegenständen. Die Halterung bietet nicht nur Fremdschutz, sondern auch den Eigenschutz der Fahrräder. Jeglicher Kontakt mit anderen Fahrrädern wird durch die singuläre Unterbringung vollständig vermieden. Der automatische Lift befreit den Fahrgast vom kräftezehrenden Hochheben des Fahrrades. Im Zusammenspiel mit der einfachen Steuerung via Display bietet der Fahrradhalter eine hohe Benutzerfreundlichkeit. Die einfache Fixierung des Vorderrads in der Vorrichtung sorgt nicht nur für eine unkomplizierte Handhabung, sondern resultiert zusätzlich in einer enormen Zeitersparnis bei der Unterbringung des Fahrrades. Im Vergleich zu den vorherigen Halterungen und Abstellmöglichkeiten ergibt sich der größte Nachteil dieses Halters bei den Kosten. Jeder einzelne Fahrradlift verfügt über ein eigenes Bedienpult und über einen eigenen Antrieb. Im Vergleich zu starren Halterungen erfordert diese Konzeption eine intensivere und kompliziertere Wartung. Ein weiterer Kostentreiber stellt das Design an sich dar. Durch eine ästhetische Gestaltung der Halterung ist die Produktion aufwändiger und dadurch teurer.

3 Patentrecherche

Die in Tabelle 1 dargestellten Patentschriften sind das Ergebnis einer umfassenden Patentrecherche beim DPMA und durch Alstom. Mithilfe von Klassifikationen und Schlüsselwörtern sind diese Patentschriften ermittelt worden. Hauptthematik der Patente ist eine Haltevorrichtung für Fahrräder insbesondere in Schienenfahrzeugen.

Tabelle 1: Patente von unterschiedliche Fahrradhaltesystemen

Nr.	Patentnummer	Patentbeschreibung
1	EP 2 832 628 B1	Innenausstattungsgegenstand zur Anordnung in Fahrzeugen des öffentlichen Verkehrs [6]
2	DE 41 19 403 A1	Fahrradständer, insbesondere für Eisenbahnwagen [7]
3	DE 103 35 677 A1	Vorrichtung zum Festhalten eines Zweiradfahrzeuges [8]
4	DE 195 39 787 A1	Schienenfahrzeug, insbesondere für den Nah- und Regionalverkehr [9]
5	DE 10 2010 005 689 A1	Fahrradhalteeinrichtung, insbesondere für öffentliche Verkehrsmittel [10]
6	DE 10 2009 060 415 A1	Ausstattung für Verkehrsmittel, insbesondere Schienenverkehrsmittel [11]
7	DE 10 2005 042 823 A1	Fahrradhalter [12]
8	DE 299 12 604 U 1	Präsentationsstand für Fahrräder [13]

3.1 Einteilung der Patente

Die Patentschriften werden hinsichtlich des auffälligsten Merkmals eingeteilt und kurz in der Funktionsweise erklärt.

Hubsystem

Die Patentschrift DE 41 19 403 A1 (Siehe Tabelle 1, Nr. 2) beschreibt ein vertikales Hubsystem, welches Fahrräder am Vorderrad anhebt (Siehe Bild 9, S. 13). Ein Seilzug übernimmt dabei die Kraftübertragung und hält gleichzeitig das Fahrrad in der Hubposition, indem das Seil im Fahrradrahmen eingehakt wird.

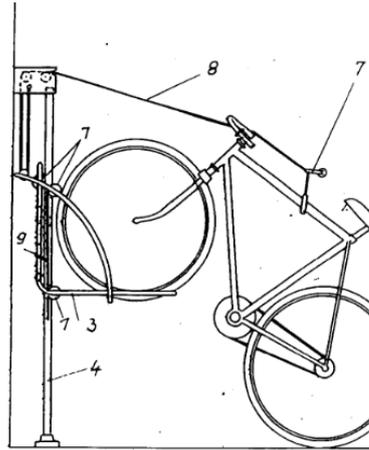


Bild 9: Darstellung des Patents DE 41 19 403 A1 [7]

LaufRadhalterung

Bei der LaufRadhalterung bezieht sich die Haltevorrichtung ausschließlich auf ein LaufRad eines Fahrrades. In diese Kategorie lassen sich die Patentschriften DE 10 2005 042 823 A1 (Siehe Nr. 7 in Tabelle 1, S. 12) und DE 299 12 604 U 1 (Siehe Nr. 8 in Tabelle 1, S. 12) einordnen.

Das Patent DE 10 2005 042 823 A1 in Bild 10 zeigt eine Reifenklemme, die den Reifen mitsamt Felge in einem Käfig einspannt. Dabei ist der Arm, der an der Felge sitzt, beweglich gelagert. Der Reifen des Fahrrades wird gegen ein federnd gelagertes Blech gedrückt, welches den beweglichen Arm an der Felge betätigt. Die gesamte Halterung ist zusätzlich abschließbar.

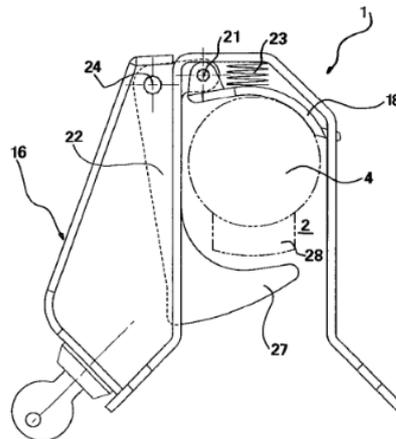


Bild 10: Darstellung des Patents DE 10 2005 042 823 A1 [12]

Eine andere Möglichkeit zeigt das Patent DE 299 12 604 U 1 im Bild 11. Diese Konstruktion beinhaltet keine bewegliche Mechanik. Das Laufrad wird mit der Felge auf die Vorrichtung gefädelt. Die leicht schräg nach oben laufende Anbringung des Hakens sorgt für eine Kippsicherung des gesamten Rades. Um im unteren Bereich des Laufrads ein Wegrutschen zu verhindern, ist neben dem senkrechten Pfosten ein zusätzlicher Stutzen auf der anderen Seite des Laufrads verbaut.

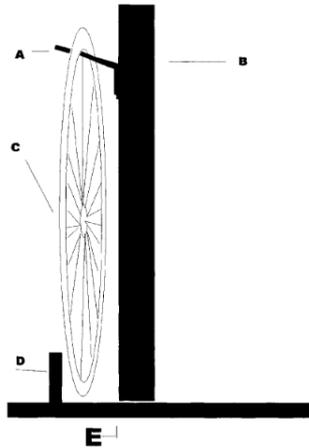


Bild 11: Darstellung des Patents DE 299 12 604 U 1 [13]

Pedalhalterung

Eine weitere Möglichkeit ist die Befestigung der Pedale. Dabei wird eine Pedale fixiert, die dadurch das gesamte Fahrrad am Wegrollen und Umkippen hindert. Hier zu nennen sind die Patente DE 103 35 677 A1 (Siehe Nr. 3 in Tabelle 1, S. 12) und EP 2 832 628 B1 (Siehe Nr. 1 in Tabelle 1, S. 12).

Bei dem Patent DE 103 35 677 A1 im Bild 12 befindet sich die Pedalbefestigung auf dem Boden. Das Pedal wird auf der unteren Aufnahme positioniert. Danach wird die obere Klemme über das Pedal geklappt und in der unteren Aufnahme kraftschlüssig befestigt.

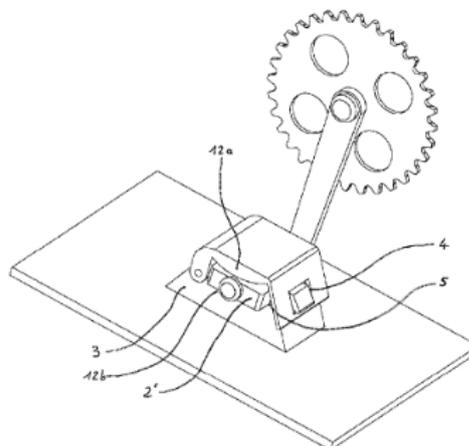


Bild 12: Darstellung des Patents DE 103 35 677 A1 [8]

Im Patent EP 2 832 628 B1 (Siehe Bild 13) wird nicht das Pedal als solches gehalten. Die Halterung ist im Prinzip ein Gabelblech. Das Fahrrad wird mit dem Gewindeschaft eines Pedals von oben in Lücke des Gabelblechs eingehängt. In der Patentschrift sind noch weitere zahlreiche Gestaltungsmöglichkeiten dieses Systems dokumentiert.

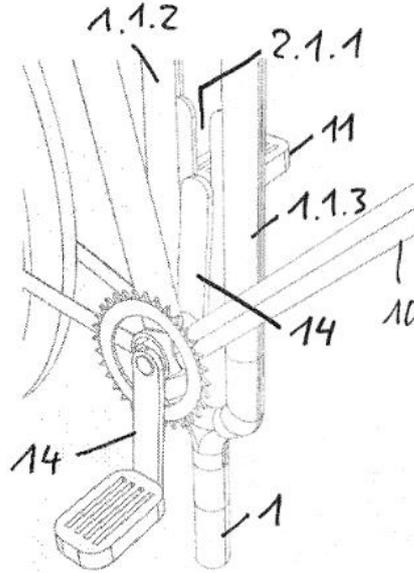


Bild 13: Darstellung des Patents EP 2 832 628 B1 [6]

Skalierbare Halterungen

Skalierbare Haltersysteme für Fahrräder in Eisenbahnwagen stellen die Patente DE 195 39 787 A 1; DE 10 2010 005 689 A1 und DE 10 2009 060 415 A1 dar (Siehe Nr. 4; 5 und 6 in Tabelle 1, S. 12). Unterschiede gibt es bei der Kombination mit Sitzplätzen und dem Gesamtkonzept der einzelnen Patentschriften.

Das in der Patentschrift DE 195 39 787 A 1 vorgestellte Konzept umfasst eine Kombination von Fahrradhalterungen mit integrierten Sitzplätzen (Siehe Bild 14, S. 16). Paarweise angeordnete Fahrradhalter werden jeweils zwischen Sitzplätzen positioniert. Die Besonderheit dabei ist die in horizontaler Ebene schwenkbare Halterung. Sind keine Fahrräder in der Halterung verstaut, kann die gesamte Halterung gedreht werden, sodass die Sitze wie normale Reihensitze positioniert sind.

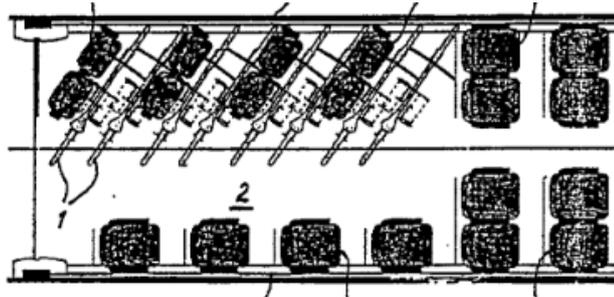


Bild 14: Darstellung des Patents DE 195 39 787 A 1 [9]

Ein weiteres Konzept zeigt das Patent DE 10 2010 005 689 A1 im Bild 15. Das Konzept ist eine Vorderradhalterung, die an der Seitenwand montiert wird. Dabei ist die Halterung spitzwinklig $< 45^\circ$ zur Fahrzeuglängsachse und in Bodennähe < 1 m angebaut.

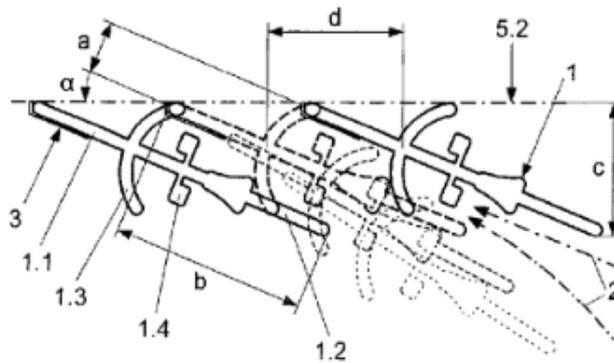


Bild 15: Darstellung des Patents DE 10 2010 005 689 A1 [10]

Bei dem Patent DE 10 2009 060 415 A1 handelt es sich um eine skalierbare Vorderradhalterung, die an der Sitzfläche von Klappsitzen montiert wird. Im Bild 16 erkennt man eine schräge Anordnung der Halterung am Sitz, sodass das Fahrrad in einem spitzen Winkel zur Fahrzeuglängsachse im Wagen steht.

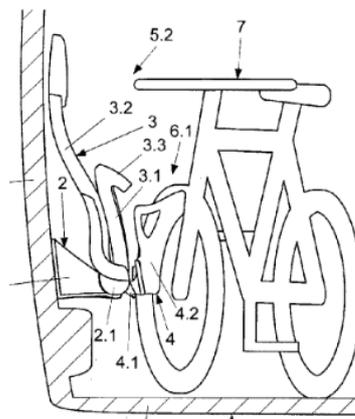


Bild 16: Darstellung des Patents DE 10 2009 060 415 A1 [11]

4 Randbedingungen

Die Konstruktion der Fahrradhalterung findet für einem von Alstom Transportation Germany GmbH vorgegeben generischen Wagentyp statt. Bei dem Wagen handelt es sich um einen doppelstöckigen Personenwagen, der vorzugsweise im Regionalverkehr oder im DB Fernverkehr als IC 2 eingesetzt wird. Herausfordernd bei diesem Wagentyp ist die niedrige Deckenhöhe in beiden Etagen durch den Zwischenboden. Dementsprechend ist die nutzbare Raumhöhe weitaus niedriger, als bei einstöckigen Wagentypen. Um einen ebenerdigen Einstieg für Fahrräder zu ermöglichen, befinden sich die Einstiege zwischen den Achsen auf etwa der gleichen Höhe wie die Bahnsteigkante. Das wiederum verringert den nutzbaren Platz in der unteren Etage für Fahrräder und Passagiere. Aufgrund der Treppen, die in die Zwischenebene über den Drehgestellen und in die zweite Etage führen, eignet sich nur die untere Etage zum Verstauen von Fahrrädern. Folglich muss auf sehr begrenztem Raum das Maximum an nutzbaren Platz für das Abstellen von Fahrrädern ausgeschöpft werden. Die vielfältigen Einsatzbedingungen dieses Wagentyps, einerseits im Nahverkehr und andererseits im Fernverkehr, sorgen für unterschiedliche Anforderungen und Kriterien. Als Nahverkehrswagen müssen schnelle Fahrgastwechsel gewährleistet sein. Des Weiteren muss mit einem allgemein höheren Verkehrsaufkommen und somit mit einer hohen Anzahl von Fahrrädern gerechnet werden. Im Fernverkehr steht ein angenehmes Reiseerlebnis im Vordergrund. Das Spektrum an verschiedenen Fahrrädern ist kleiner und die Fahrgastwechsel sind seltener im Vergleich zum Nahverkehr. Im Fernverkehr wird zudem nur eine begrenzte Zahl an Fahrradstellplätzen eingeplant, um ein Maximum an Sitzplätzen im Zug vorweisen zu können. Tabelle 2, S. 18, gibt einen Überblick über die zugeordneten Fahrradtypen der jeweiligen Passagierkategorien und welche Ansprüche an sie gestellt werden. Zusätzlich beinhaltet die Tabelle Informationen darüber, in welchen Situationen mit dem jeweiligen Passagier zu rechnen ist und welche weiteren Besonderheiten auf den Fahrgast zutreffen.

Tabelle 2: Übersicht von Passagieren und Fahrradtypen

Passagier	Fahrradtyp	Eigenschaften des Fahrrades/ Ansprüche des Passagiers	Weitere Faktoren
Pendler	<ul style="list-style-type: none"> - Faltrad - Cityrad - Trekkingrad - Gravelbike 	<ul style="list-style-type: none"> - Günstig - Zweckdienlich - Ggf. alt - Ggf. zusammenklappbar 	<ul style="list-style-type: none"> - Alltag - Berufstätig unter der Woche
Freizeit-sportler	<ul style="list-style-type: none"> - Rennrad - Mountainbike - Fitnessbike - Gravelbike 	<ul style="list-style-type: none"> - Hochpreisig - Hochwertig - Sensible Materialien - Schadensanfällig bei unsachgemäßer Handhabung - Geringes Gewicht 	<ul style="list-style-type: none"> - vor/ nach der Arbeit - Wochenende
Reiseradler	<ul style="list-style-type: none"> - Trekkingrad - Gravelbike - E-Rad 	<ul style="list-style-type: none"> - Robust - Mittel- bis hochpreisig - Hohes Gewicht - Zusatzausstattung, wie Rückspiegel, Tachometer,... 	<ul style="list-style-type: none"> - Ferienzeit - Wochenende - Jung bis Alt - Viel Gepäck
Ausflugs-radler	<ul style="list-style-type: none"> - Cityrad - Hollandrad - Trekkingrad - Mountainbike - E-Rad 	<ul style="list-style-type: none"> - Niedrig- bis hochpreisig - Mittleres bis hohes Gewicht 	<ul style="list-style-type: none"> - Wochenende - Jung bis Alt

In Tabelle 3, S. 19, werden grob die Ausmaße verschiedener Fahrräder gelistet, um ein besseres Gesamtbild zu zeichnen, welchen Raum Fahrräder in ihrer Umgebung einnehmen. Dabei werden nur die für den Kontext wichtigsten Kenngrößen der Fahrräder vorgestellt. Angefangen von Kinderrädern mit 20“ Felgenmaß bis SUV-E-Rädern mit der größten Reifenbreite werden ausschließlich die gängigsten Fahrräder betrachtet. Sonderfälle wie Fatbikes, Liege-, Lasten- und Falträder sind in der Tabelle nicht berücksichtigt.

Tabelle 3: Wichtige Maße von gängigen Fahrrädern

Kennwert	Beschreibung
Raddurchmesser	max. 760 mm (29“)
Felgenschultermaß	400 mm (20“) – 622 mm (28“) [14]
Reifenbreite	23 mm – 66 mm [15]
Felgenhöhe	max. 80 mm [16]
Felgenhöhe mit Reifen	max. 110 mm
Materialien	Aluminium, Stahl, CFK
Speichenabstand (Felge)	min. 30 mm
Lenkerbreite	570 mm – 730 mm
Rahmentyp	Diamant; Trapez; Wave; Mountainbike; Tiefeinstieg; Y
Fahrradlänge	1330 mm – 2000 mm
Fahrradhöhe	max. 1200 mm
Gewicht	max. ca. 40 kg
Akkuposition*	im Unterrohr, am Rahmen, im Gepäckträger
Motorposition*	Front, Mitte, Heck

*nur bei E-Rädern

Die wichtigsten Parameter des generischen Wagentyps von Alstom sind in der Tabelle 4 dargestellt. Die Positionierung der Türen und weitere Konstruktionsmerkmale des Wagens lassen nicht die vollständige Ausnutzung des Platzes zu. Dementsprechend sind die nutzbaren Innenraummaße angegeben. Eine weitere Einschränkung ist der Fluchtweg, der je nach Gestaltung und Positionierung den Bauraum beeinflusst. Innerhalb dieses Bauraums kann die Anzahl an Stellplätzen individuell festgelegt werden, weshalb mindestens ein Stellplatz angegeben ist.

Tabelle 4: Umgebungsparameter des Wagens

Kennwert	Beschreibung
Wagentyp	Doppelstockpersonenwagen mit Tiefeinstieg
Nutzbare Wageninnenmaße (X_w) (L x B x H)	10500 mm x 2118 mm x 2070 mm
Fluchtweg (X_f)	Seitlich, mittig
Bauraum (X_b)	$X_b < X_w - X_f$
Anzahl an Stellplätzen	min. ein Stellplatz

4.1 Zusammenfassung und weiteres Vorgehen

Die vielen unterschiedlichen Fahrräder und die daraus resultierenden Probleme im Zusammenspiel mit unterschiedlichen Wagentypen und Bedingungen zeigen die Komplexität dieses Themas. Die größte Schwierigkeit ist es dabei, jedem Fahrgast die gleichen Voraussetzungen für einen angenehmen Transport von Fahrrädern im Zug zu schaffen. Derzeitige Lösungen im ÖPNV für den Fahrradtransport bieten wenig Unterstützung für schwere E-Räder und zu wenig Flexibilität bezüglich der beschriebenen Kennwerte. Diese Arbeit befasst sich im weiteren Verlauf mit dieser Problemstellung. Durch die Anwendung geeigneter Methoden werden Konzepte erarbeitet, durch die es möglich ist, unterschiedlichste Fahrräder in den unterschiedlichsten Eisenbahnwagen sicher und möglichst frei von Komplikationen unterzubringen.

5 Konstruktive Entwicklung der Fahrradhalterung

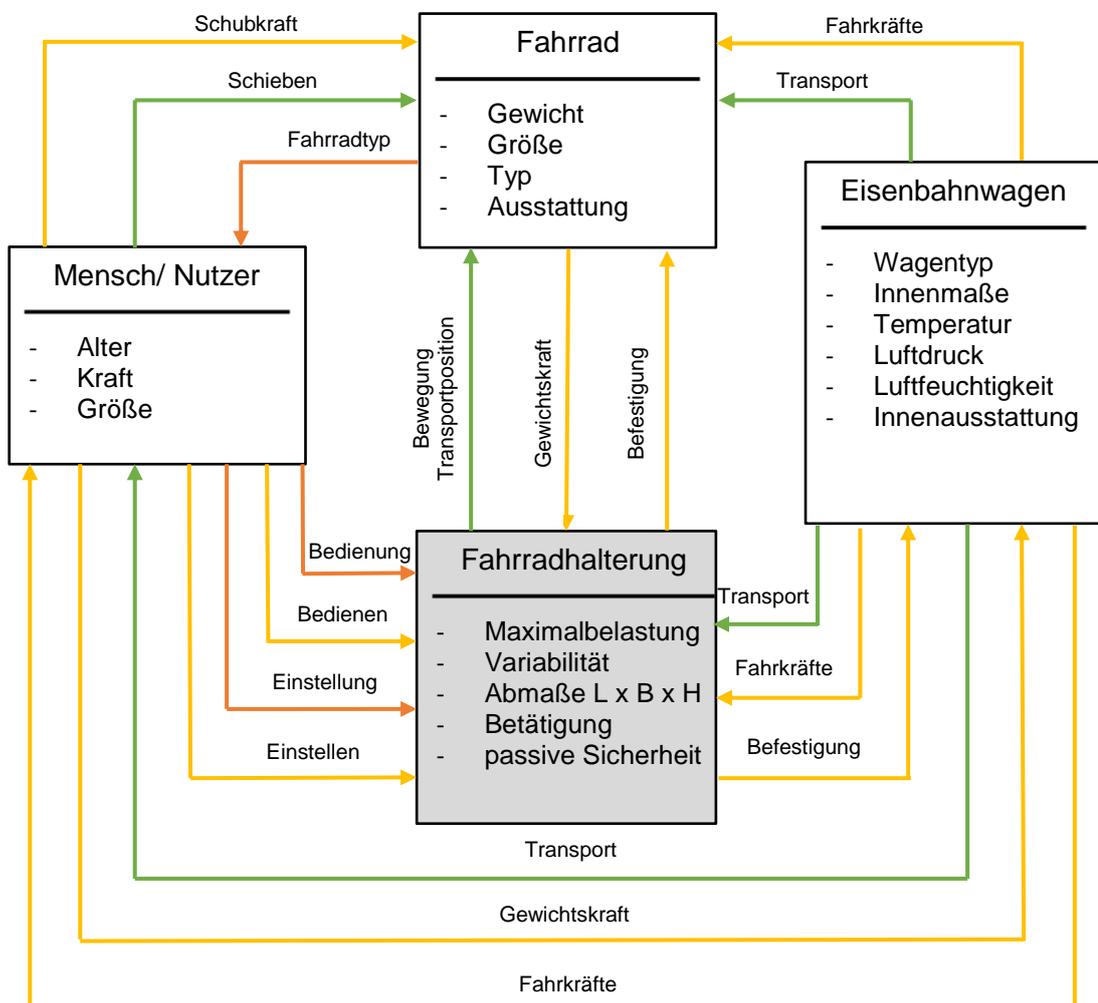
5.1 Anforderungsliste

Zu Beginn eines jeden konstruktiven Entwicklungsprozesses ist eine Anforderungsliste unerlässlich. In der Anforderungsliste werden alle festgelegten Forderungen an das System aus den Randbedingungen abgeleitet. Für eine umfassende Aufstellung der Ansprüche werden weitere wichtige Faktoren und Wunschanforderungen ergänzt. Die festen Forderungen an das System sind Vorgaben, die die Konstruktion erfüllen muss. Dabei können Mindest- und Maximalanforderungen spezifischere Bedingungen darstellen. Mit Hilfe der Fest- und Mindestanforderungen kann bei der Variantenaufstellung eine Vorauswahl getroffen werden. Alle Systeme, die die gestellten Forderungen nicht erfüllen, können im Vorhinein aussortiert und nicht weiter im Entwicklungsprozess berücksichtigt werden. Die festen Anforderungen sind mit einem unveränderbaren Wert angegeben. Die Mindest- bzw. Maximalanforderungen lassen einen gewissen Spielraum zu. Begrenzt wird die Toleranz durch Mindest- und Maximalwerten, die weder unter- noch überschritten werden dürfen. Bei den Wunschanforderungen hingegen handelt es um ergänzende Kriterien. Wunschkriterien bieten mögliche Verbesserungen oder beinhalten zusätzliche Forderungen, die nicht zwingend erfüllt werden müssen. Die grundlegende Konstruktion wird in erster Linie von den Fest-, Mindest- und Maximalforderungen beeinflusst und durch die Wunschforderungen weiterentwickelt und finalisiert. Die Einteilung in einzelne Kategorien der Anforderungsliste in Anlage B, S. 65 - 69, sorgt für eine bessere Übersichtlichkeit und für eine präzise Auflistung der einzelnen Anforderungen. Während des Entwicklungsprozesses wird die Liste stetig erweitert und aktualisiert.

5.2 Funktionsplan

Die Erstellung des Funktionsplans und der Funktionsstruktur ist nach der Anforderungsliste der erste Schritt die Aufgabenstellung mit der Variantenerstellung zu verknüpfen [19]. Die Übersichten des Funktionsplans bilden die Grundlage des weiteren Entwicklungsprozesses. Die zu entwickelnde Konstruktion wird dabei auf die Grundfunktionen reduziert und in die Umgebungsstruktur eingeordnet. Während dieses Prozesses können mögliche Fehler und Konflikte erkannt und vermieden werden. Der Funktionsplan dient als Übersicht der jeweiligen Wechselwirkungen und des Zusammenspiels der Halterung mit dem Nutzer, Eisenbahnwagen, Fahrrad und weiteren Umwelteinflüssen, die auf den Fahrradhalter einwirken.

Im Mittelpunkt des Funktionsplans steht der Fahrradhalter als entscheidendes, zentrales Element der Konstruktion. Die Hauptaufgabe des Fahrradhalters besteht in der Fixierung des Fahrrades, weshalb das Fahrrad in einem separaten Feld eingeordnet ist. Die weiteren Felder bilden der Eisenbahnwagen und der Mensch/ Nutzer. Dabei ist der Eisenbahnwagen nach dem Fahrradhalter das zweite wichtige Element des Funktionsplans, da dieser die limitierende Umgebung darstellt. Das jeweilige Zusammenspiel dieser Felder wird im Bild 17 veranschaulicht. Beschriftete Pfeile mit der entsprechenden Wirkrichtung verdeutlichen die Art der Interaktion zwischen den einzelnen Kästen. Detailliertere Informationen werden in Tabelle 5, S. 23 gezeigt, in der die Beschreibungen der jeweiligen Funktion zugeordnet sind.



Legende:

- Stofffluss
- Kraftfluss
- Informationsfluss

Bild 17: Darstellung des Funktionsplans

Tabelle 5: Beschreibung des Funktionsplans

Funktion	Beschreibung
Der Fahrradhalter ist im Eisenbahnwagen eingebaut	- Befestigung mittels Kraftschluss im Eisenbahnwagen (Kraftfluss)
Der Eisenbahnwagen fährt und bewegt sich	- Eisenbahnwagen überträgt Fahrkräfte an Fahrradhalter (Kraftfluss)
	- Eisenbahnwagen überträgt Fahrkräfte an Fahrrad (Kraftfluss)
	- Eisenbahnwagen überträgt Fahrkräfte an Mensch (Kraftfluss)
	- Eisenbahnwagen transportiert Mensch, Fahrradhalter und Fahrrad (Stofffluss)
	- Mensch fährt im Eisenbahnwagen (Kraftfluss)
Das Fahrrad wird im Fahrradhalter verstaut	- Nutzer schiebt das Fahrrad auf den Halter (Kraft-, Stofffluss)
	- Mensch Fahrradtyp (Informationsfluss)
	- Mensch stellt Fahrradhalter auf individuelles Fahrrad ein (Kraft-, Informationsfluss)
	- Fahrrad wird im Fahrradhalter fixiert (Kraftfluss)
	- Nutzer fixiert Fahrrad und bedient Fahrradhalter (Kraft-, Informationsfluss)
	- Fahrrad wird mittels Fahrradhalter in und aus der Transportposition gebracht (Stofffluss)
	- Fahrrad steht im Halter (Kraftfluss)

5.2.1 Funktionsstruktur

In der Funktionsstruktur wird der zu betrachtende Fahrradhalter aus dem Funktionsplan isoliert [19]. Die eingehenden und ausgehenden Stoff-, Kraft- und Informationsflüsse aus dem Funktionsplan sind in der Funktionsstruktur weiterhin vorhanden. Für eine detaillierte Übersicht wird die Funktionsstruktur in einzelne Ebenen aufgeteilt.

Die erste Ebene im Bild 18 beinhaltet das Herauslösen der Fahrradhalterung aus dem gesamten Funktionsplan. Alle eingehenden und ausgehenden Flüsse, die bei der Nutzung auftreten, werden dargestellt.

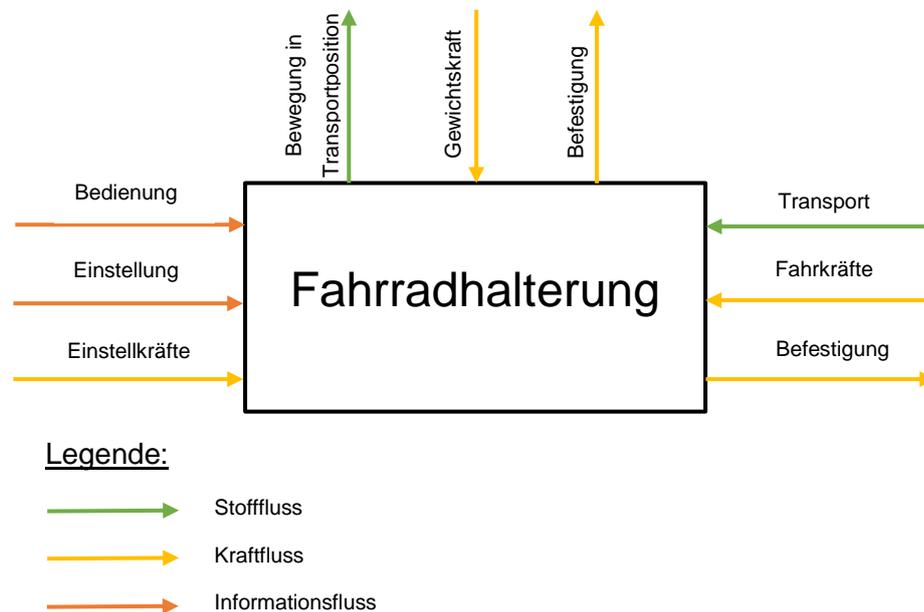


Bild 18: Funktionsstruktur der ersten Ebene

Die zweite Ebene im Bild 19, S. 25, zeigt eine detaillierte Übersicht über die Funktionsstruktur innerhalb des Fahrradhalters [20]. Dafür ist der Fahrradhalter in seine einzelnen Module zerlegt. Sie gibt Aufschluss darüber, welche äußeren Einflüsse auf welches Modul einwirken. Der Fahrradhalter beinhaltet ein Hubmodul, ein Schienenmodul und ein Vorderradmodul. Das Hubmodul ist dabei in weitere Untergruppen aufgeteilt. Die Befestigung des Fahrradhalters mit dem Eisenbahnwagen ist als außenliegendes separates Element dargestellt. Eine bewegliche Kopplung stellt die Verbindung des Hubmoduls mit dem Fahrradmodul her, wohingegen das Vorderradmodul fest auf dem Fahrradmodul befestigt ist. Innerhalb des Hubmoduls befinden sich das Bedienelement, die Steuerung, der Antrieb und der Hubkörper. Die Schraffierung der Steuerung sagt aus, dass sie in der Variantenerstellung nicht betrachtet wird. Die Informations- und Stoffflüsse gehen stets mit einer mechanischen Kraft einher und sind daher mit jeweils einer Kraft gekoppelt dargestellt.

In diesem Fall ist nicht der Fahrgast als Antrieb vorgesehen. Der Antrieb selbst wird als ein unabhängiges Bauteil dargestellt. Erst durch eine manuelle Betätigung des Bedienelements durch den Fahrgast wird der Antrieb aktiviert. Diese Betätigung kann wiederholt in beiden Endlagen des Hubkörpers ausgeführt werden. Die Steuerung stellt dabei die jeweilige

Richtung des Antriebs ein. Der Aktivierung des Fahrradhalters folgt ein mechanischer Ablauf im Hubmodul.

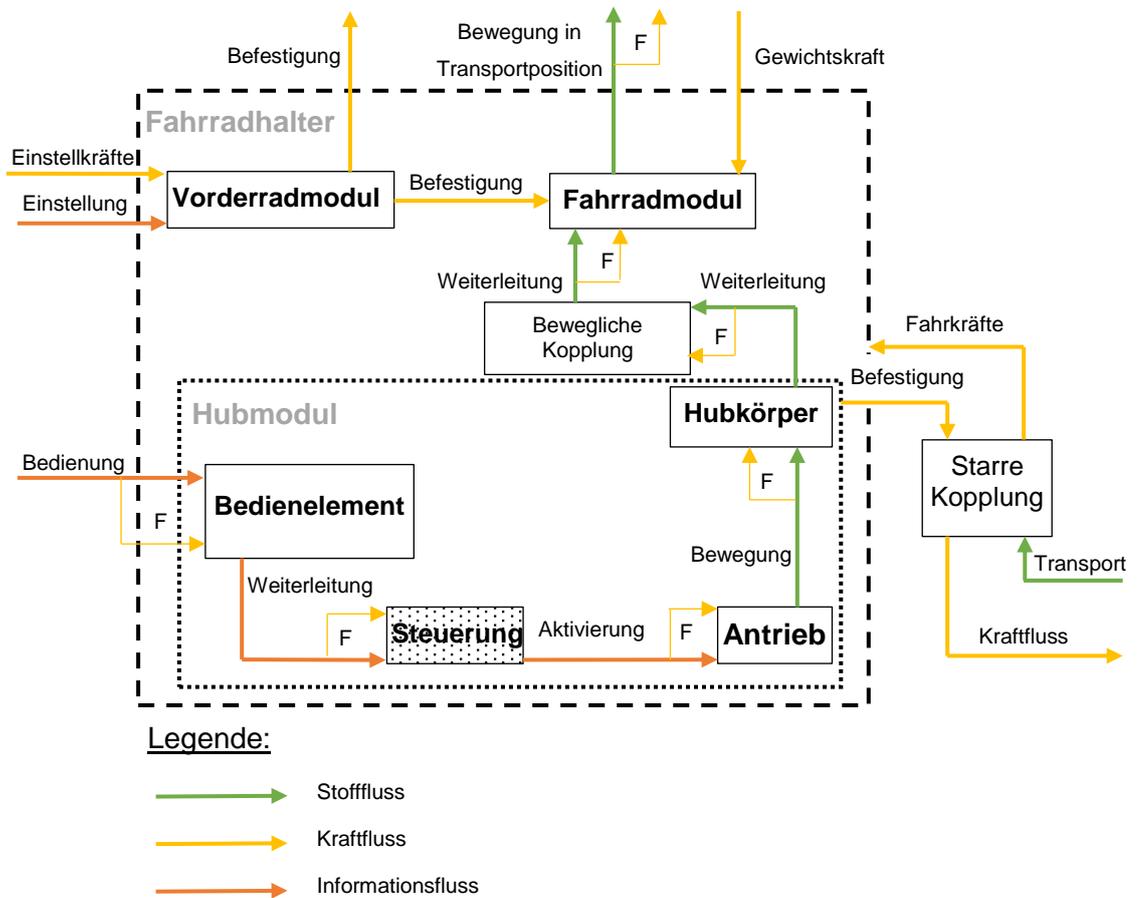


Bild 19: Funktionsstruktur der zweiten Ebene

5.2.2 Funktionsprinzip

Nach Betreten des Zuges stellt der Fahrgast sein Fahrrad auf das Fahrradmodul einer unbesetzten Fahrradhalterung. Dort muss einhändig das Vorderrad im Vorderradmodul fixiert werden, sodass das Fahrrad ohne Festhalten einen stabilen Stand hat. Nun kann der Passagier eventuell am Fahrrad befindliche Packtaschen bequem abnehmen, ohne darauf zu achten, dass das Fahrrad durch Bewegungskräfte während der Fahrt umzukippen droht. Mit der Kontrolle der Vorderradhalterung wird der feste, kraftschlüssige Halt des Vorderrads in der Halterung geprüft. Anschließend kann das Fahrrad durch die Betätigung des Bedienelements in die Transportstellung gebracht werden. Befindet sich das Fahrrad bereits in der Transportstellung, wird das Fahrrad mittels der Betätigung desselben Bedienelements aus der Transportstellung in die Normalstellung gebracht werden. Je nach dem in welcher Endlage sich der Hubkörper befindet, stellt die Steuerung die entsprechende Bewegungsrichtung des Antriebs ein. Der Antrieb bewegt somit den

Hubkörper entweder auf- oder abwärts bis zur jeweils anderen Endlage. Vor den Endlagen sorgen entsprechende Dämpfungs- bzw. Bremsenlemente für ein sanftes Einfahren in die Endlagen. Die bewegliche Kopplung zwischen dem Hub- und dem Fahrradmodul gewährt mit einem Freiheitsgrad von 1 eine Drehung um die Querachse am Hubkörper.

5.3 Bewertungskriterien und Wichtung

Für einen objektiven Vergleich bei der Variantenerstellung werden zunächst entsprechende Bewertungskriterien aufgestellt [17], [18], [19]. Die wichtigsten Kriterien werden aus der Anforderungsliste heraus formuliert und in einer entsprechenden Bewertungsmatrix dargestellt. In der Bewertungsmatrix wird jedes Kriterium nach der Relevanz zu jedem anderen Kriterium mit den Zahlen von 0 bis 2 benotet. Dabei bedeutet die Zahl 0 eine geringere und die Zahl 1 eine gleichwertige Relevanz. Die Zahl 2 wird vergeben, wenn das betrachtete Kriterium eine höhere Relevanz als das verglichenen Kriterium hat. Daraus folgen unterschiedliche Benotungen, die durch Summieren aller vergebenen Werte eine entsprechende Gesamtpunktzahl jedes einzelnen Kriteriums ergeben. Anhand dieser Gesamtpunktzahl wird jedes Kriterium nach der Relevanz geordnet und in der Bewertungstabelle gelistet. Mithilfe dieser Vorgehensweise wird die optimale Lösungsvariante herauskristallisiert und bei der weiteren Entwicklung ausgearbeitet.

5.3.1 Bewertungskriterien

Die Auswahl der Bewertungskriterien erfolgt nach den wichtigsten und ausschlaggebendsten Funktionen aus der Anforderungsliste. In Tabelle 6, S. 27 ist das Ergebnis aus der Bewertungsmatrix in Anlage C, S. 70. Damit eine sinnvolle und aussagekräftige Bewertung im Vorfeld der Variantenerzeugung stattfinden kann, werden in einer weiteren Bewertungsmatrix (Siehe Anlage C, S. 70) alle Kriterien ausgeschlossen, die im Voraus nicht zuverlässig bewertet werden können. Dabei handelt es sich um Voraussetzungen, die ohne einen gewissen Entwicklungsstand erreicht zu haben, keine zuverlässigen Aussagen zulassen.

Tabelle 6: Zusammenfassung der Bewertungsmatrix (Siehe Anlage C, S. 70)

Position	Kriterium	Punkte
1	Bauhöhe (H = 2070 mm)	28
2	hohe Variabilität/ Aufnahme verschiedenster Fahrräder	27
3	Hohe Sicherheit	27
4	Hohe Beständigkeit/ Lebensdauer	26
5	Robustheit gegen Umwelteinflüsse	26
6	Transportschutz	22
7	Einfacher Aufbau	20
8	Einfache Handhabung	20
9	Geringer Platzbedarf	21
10	Skalierbarkeit	21
11	Ergonomische Bedienung	18
12	Geringer Zeitaufwand	15
13	Geringes Gewicht	15
14	Einfache Fertigung	4
15	Einfache Montage	4
16	Einfache Wartung	4
17	Einfache Reparatur	4
18	Kosten	4
Σ		306

5.3.2 Wichtung der Kriterien

Das Ergebnis aus der reduzierten Bewertungsmatrix ist in Tabelle 7, S. 28 dargestellt. Neben der Position und der Gesamtpunktzahl enthält sie zusätzlich die prozentuale Wichtung der einzelnen Kriterien. Die prozentuale Wichtung hilft bei der späteren Variantenauswahl, indem sie mit der jeweiligen Note der Variante multipliziert und so die Wichtigkeit des Kriteriums berücksichtigt wird. Anhand dieser Vorgehensweise stellt sich am Ende der Variantenbewertung die optimale Lösung heraus.

Tabelle 7: Zusammenfassung mit Wichtung der Bewertungsmatrix
(Siehe Anlage C, S. 70)

Position	Kriterium	Punkte	Wichtung in %
1	Bauhöhe (H = 2070 mm)	15	13,6
2	hohe Variabilität/ Aufnahme verschiedenster Fahrräder	14	12,7
3	Hohe Sicherheit	14	12,7
4	Robustheit gegen Umwelteinflüsse	13	11,8
5	Hohe Beständigkeit/ Lebensdauer	12	10,9
6	Transportschutz	10	9,1
7	Einfache Handhabung	8	7,3
8	Geringer Platzbedarf	8	7,3
9	Einfacher Aufbau	7	6,4
10	Ergonomische Bedienung	6	5,5
11	Geringer Zeitaufwand beim Bedienen	3	2,7
Σ		110	100

5.4 Kombination verschiedener Wirkprinzipien

5.4.1 Erstellen eines Ordnungsschemas

Für eine erfolgreiche Variantenerstellung empfiehlt sich die Erstellung eines Ordnungsschemas [17], [18], [19]. Der Morphologische Kasten (Siehe Tabelle 8, S. 30) bietet durch zahlreiche Kombinationsmöglichkeiten eine Erleichterung bei der Erstellung verschiedener Lösungsvarianten. Auf Basis der Funktionsstruktur wird eine Übersicht erzeugt, die das Gesamtsystem in einzelne Teilsysteme aufteilt und strukturiert darstellt. Für die weitere Vorgehensweise werden zu jedem Teilsystem verschiedene Lösungsvorschläge und Lösungsprinzipien erarbeitet. Ziel ist es, durch den Morphologischen Kasten unterschiedliche Variationen und Kombinationen der einzelnen Wirkstrukturen zu ermitteln und letztlich mehrere Lösungsvarianten zu entwickeln. Schritt für Schritt werden unterschiedliche Realisierungsmöglichkeiten formuliert, die schließlich zu dem gewünschten Gesamtsystem führen sollen.

Verbindungen/ Kopplung

Unter Verbindungen und Kopplung sind im Allgemeinen alle Elemente enthalten, die eine form-, kraft- oder stoffschlüssige Verbindung herstellen. Durch die häufige Verwendung dieser Elemente sind sie nur einmal aufgelistet, um die Übersichtlichkeit zu gewährleisten. Sie werden entsprechend ihrer Wirkweise in mehreren Bauteilen und Baugruppen eingesetzt. Unterschieden wird dabei zwischen festen und beweglichen Kopplungen.

Bedienung

In der Kategorie Bedienung werden spezifische Angaben zu der Art und Weise der Aktivierung des Systems gemacht. Dabei werden die Bedienart, Anzahl der Betätigungen und Bedienelemente aufgelistet. Die Bedienart nennt verschiedene Vorgehensweisen des Nutzers bei der Bedienung. Die Bedienelemente umfassen verschiedene Aktivierungsmöglichkeiten und die Anzahl der Betätigungen gibt die Häufigkeit der Interaktionen mit dem entsprechenden Bedienelement an.

Antrieb

Im Abschnitt Antrieb befinden sich die Möglichkeiten der Antriebsart und der Energiezufuhr. Dabei ist beides voneinander abhängig. Bei der Energiezufuhr muss die Halterung entweder eine eigene Energiequelle besitzen oder kann im Eisenbahnwagen befindliche Energiesysteme nutzen. Bei keiner Unterstützungsfunktion benötigt die Halterung keine Energiequelle, da die Halterung vom Nutzer selbst angetrieben wird.

Gehäuse

Das Gehäuse dient in erster Linie dem Schutz sensibler Bauteile vor Verunreinigungen, Nässe und der Sicherheit für den Anwender. Abhängig von den verwendeten Funktions- und Wirkelementen können unterschiedliche Optionen verwendet werden. Die Wahl des Gehäuses muss gewährleisten, dass vorhandene Gefahrenquellen abgeschirmt und Verletzungsrisiken vermieden werden.

Hubmodul

Durch das Hubmodul wird der notwendige Höhenunterschied erreicht, um das Fahrrad in die Transportposition zu befördern. Die Bewegung in z-Richtung ist dabei die erste von drei Hauptaufgaben. Das Hubmodul kann als eine Art Aufzug betrachtet werden und sorgt für die Kraftübertragung vom Antrieb bzw. Betätigungselement zum Fahrradmodul. Wichtig ist das Abdecken eines breiten Spektrums von Mechanismen zur Höhenüberwindung.

Fahrradmodul

Das Fahrradmodul erfüllt die zweite der drei Hauptaufgaben und stellt den Kontakt zwischen dem gesamten Fahrrad und dem Aufzug her. Die Einteilung in Aufnahmeelement und Führungselement entspricht den einzelnen Funktionen des Fahrradmoduls. Auf dem Aufnahmeelement wird das gesamte Fahrrad positioniert. Die Aufnahme begrenzt die seitlichen Bewegungen der Laufräder und hält das Fahrrad in der vorgeschriebenen Position. Das Führungselement dient einem sicheren Bewegungsablauf beim Hub in die Transportstellung.

Vorderradmodul

Die dritte Hauptaufgabe ist die Fixierung des Vorderrads. Die Einteilung in Fixierungselement und Arretierung gliedert das Vorderradmodul in dessen zwei Teilfunktionen auf. Das Fixierungselement übernimmt die Aufgabe der kraftschlüssigen Aufnahme des Vorderrades. Das gesamte Gewicht des Fahrrads muss in der Transportstellung aufgenommen werden. Für die Sicherung des Fahrrades stellt es ein essenzielles Bauteil dar. Die Arretierung ermöglicht im Zusammenhang mit einer linearen Führung die individuelle Anpassung an unterschiedliche Vorderräder und verleiht der Halterung mehr Flexibilität.

Skalierung

Für eine serielle Anordnung mehrerer Halterungen nebeneinander sind verschiedene Möglichkeiten zur Umsetzung aufgelistet. Dabei wird zwischen fester und beweglicher Verankerung unterschieden. Die feste Verankerung sorgt für einen stationären Einbau der Halterung im Eisenbahnwagen. Um die Möglichkeiten zur seitlichen Verschiebung zu berücksichtigen, sind zusätzlich bewegliche Systeme aufgelistet.

Tabelle 8: Ordnungsschema, Morphologischer Kasten

Verbind.	Feste Verbindungen	Schrauben	Nieten	Schweißen	Falzen	Kleben	Klemmen	Löten		
	Bewegliche Kopplungen	Lagerung	Führung							
Bedienung	Bedienart	Halten	Drücken	Ziehen	Schieben	Kurbeln	Pumpen			
	Anzahl Betätigung	Einmalige Betätigung	Zweimalige Betätigung	Mehrmalige Betätigung						
	Bedien-element	Druckschalter	Drucktaster	Kippschalter	Wippschalter	Drehschalter	Fußschalter	Tastschalter	ohne	
Antrieb	Antriebsart	mechanisch	elektrisch	hydraulisch	pneumatisch					
	Energiezufuhr	intern	extern	ohne						
Geh.	Schutz	offen	geschlossen	teilgeschlossenen						
Hub-modul	Hubelement	Seilzug	Spindel	Zahnstange	Kette	Flachriemen	Keilriemen	Zahnriemen	Teleskopzylinder	Teleskopspindel
Fahrrad-modul	Aufnahme-element	Bügel	V-Form	Doppel-U-Form	U-Form					
	Führungselement	N-Schiene	Laufrollenschiene	U-Schiene	ohne					
Vorder-radmodul	Fixierungselement	Haken	Spanngurt	Klettverschluss	Zahnriemen	Schraubklemme	Klemme			
	Arretierung	Rastbolzen	Klemmhebel	Spannhebel	Spannschraube	Steckbolzen	Spannzange	Rastschiene		
Skalierung	Feste Verankerung	C-Schiene	Profilschiene							
	Bewegliche Verankerung	Gleitführung	Käfigschiene-nenführung	Lineargleit-lager	Teleskopschiene-nenführung	Laufrollen-führung	Linearschie-beeinheit			

Detaillierte Beschreibungen, sowie die einzelnen Ordnungsschemen für die Erstellung der Lösungsvarianten sind in der Anlage D, S. 72 ff., dargestellt. Die farblichen Markierungen der verwendeten Elemente sind der entsprechenden Baugruppe zugeteilt.

5.5 Lösungsvarianten und Bewertung

Aus den vorhergegangenen Prozessen des konstruktiven Entwicklungsprozesses resultieren letztendlich die Lösungsvarianten. Durch die Vorauswahl im Morphologischen Kasten werden die weniger sinnvollen Elemente aussortiert und verschiedene Möglichkeiten zur Umsetzung gebildet. Die Verwendung von mechanischen Übertragungselementen und lösbaren Verbindungen erhöht die Wartungsfreundlichkeit und verursacht keine zusätzliche Komplexität, wie beispielsweise bei hydraulischen Systemen. Um einen Gesamteindruck von den theoretischen Möglichkeiten und den vielen Variationen darzustellen, sind im Morphologischen Kasten auch Elemente dargestellt, die bei der Variantenfindung keine Beachtung erfahren haben. Die aus dem Morphologischen Kasten (Siehe Anlage D, S. 72 ff.) resultierenden drei Varianten werden im Folgenden einzeln erläutert und schematisch visualisiert.

5.5.1 Variante 1 - Seilzugsystem

Bei der ersten Lösungsvariante im Bild 20, S. 32, handelt es sich um ein Seilzugsystem. Das Seilzugsystem wird durch einen elektrischen Antrieb und externer Stromversorgung durch das bordeigene Stromnetz betrieben. Als Betätigungselement dient ein Drucktaster, der eine einmalige Bedienung erfordert. Dementsprechend muss der Antrieb in den Endlagen selbstständig stoppen. Bei dieser Variante werden im Eisenbahnwagen befindliche C-Schienen für die Befestigung des vertikalen Hubmoduls verwendet. Durch diese Befestigungsart kann die seitliche Positionierung der gesamten Halterung nur einmalig beim Einbau in den Eisenbahnwagen berücksichtigt werden und nicht vom Nutzer selbst. In erste Linie handelt es sich bei dem Hubmodul um eine Führungsschiene, in der ein beweglicher Schlitten mittels des Seilzugs bewegt wird. Der gesamte Antrieb ist mittels eines geschlossenen Gehäuses an der vertikalen Führungsschiene angebracht. An dem beweglichen Schlitten wird mittels einer gelagerten Schraubenverbindung das Fahrradmodul montiert. Das Fahrradmodul ist als eine Doppel-U-Profil-Schiene ausgeführt, die durch eine N-Schiene lineare Bewegungen ausführen kann. Der Gebrauch eines Doppel-U-Profils ermöglicht unterschiedliche Auflageflächen für die jeweiligen Reifenbreiten. Das Vorderradmodul ist fest mit dem Fahrradmodul verbunden. Es umfasst neben dem Führungselement einen Haken und einen Rastbolzen. Die Führungsschiene dient zum Einstellen des Hakens an die verschiedenen Vorderräder und gleichzeitig als Rastschiene, in dessen Rastungen der Bolzen verankert wird.

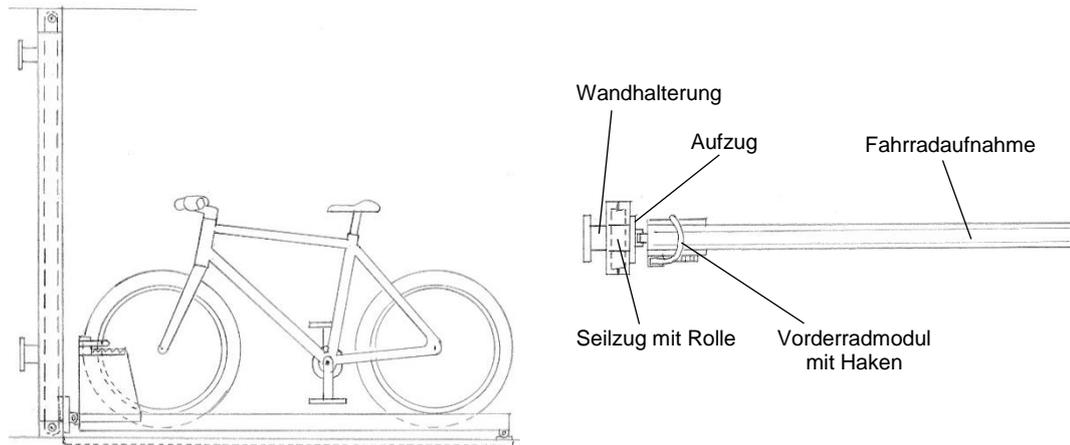


Bild 20: Skizze der Lösungsvariante 1

Funktion

Die Ruhestellung des Fahrradhalters ist stets die Transportstellung (Siehe Bild 21, S. 33), in der der Schlitten des Hubmoduls in der oberen Endlage steht. Bei Gebrauch muss zunächst das Bedienelement betätigt werden, um die Halterung aus der Ruhestellung in die Waagerechte zu bringen. In dieser Stellung kann das Fahrrad auf die Doppel-U-Profilsschiene geschoben werden. Der Reifen passt sich dabei selbstständig an die richtige Position auf der Schiene an. Anschließend wird am Vorderradmodul der Haken mittels Führungsschiene und Rastungen an das Vorderrad eingestellt, sodass das Fahrrad selbstständig stehen bleibt. Durch den Drucktaster wird der Elektromotor aktiviert, der mit Hilfe des Seilzugs den beweglichen Schlitten vom Hubmodul in die Höhe bewegt. Die an den beiden Endpunkten gelagerte Doppel-U-Profil-Schiene wird am vorderen Ende mit dem Schlitten in die Höhe bewegt. Am hinteren Ende bewegt sie sich in der horizontalen Ebene entlang der N-Schiene, bis die obere Endlage (Transportstellung) erreicht ist. An dieser Stelle stellt der Elektromotor selbstständig die Arbeit ein. Die N-Schiene und die vertikale Führungsschiene des Hubmoduls sind fest mit dem Eisenbahnwagen verbunden. Die N-Schiene ist in den Fußboden eingelassen, um keine Stolpergefahr zu bilden. Wird das System in der Transportstellung befindlich mit dem Drucktaster aktiviert, kehrt sich die Bewegungsrichtung um, und der Schlitten fährt nach unten. Durch den gleichen Bewegungsablauf in umgekehrter Reihenfolge, wird das Fahrradmodul schließlich in die waagerechte Position gebracht.

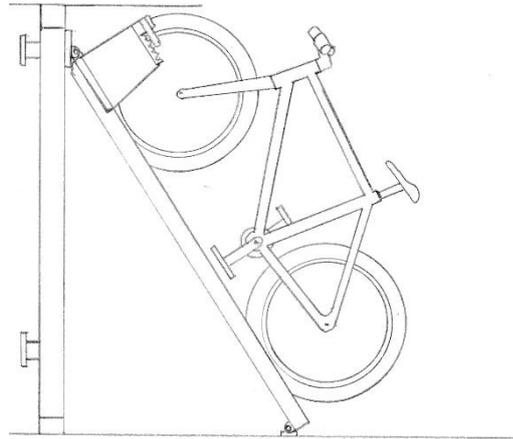


Bild 21: Skizze der Transportstellung der Variante 1

5.5.2 Variante 2 - Flachriemensystem

In der zweiten Variante im Bild 22, S. 34, übernimmt ein Flachriemen die Kraftübertragung vom Antrieb zum Schlitten. Der Flachriemen ist auf einer Rolle fixiert, die elektrisch angetrieben wird. Der Antrieb und die Rolle sind in einem teilgeschlossenen Gehäuse vor groben Schmutz geschützt. Der Riemen hingegen liegt ab dem Ausgang des teilgeschlossenen Gehäuses offen. Der Flachriemen ist mit einem Schlitten verbunden, der wie in Variante 1 in einer vertikalen Führungsschiene des Hubmoduls in der Höhe verschiebbar ist. Der elektrische Antrieb wird gleich der Variante 1 vom Stromnetz des Eisenbahnwagens versorgt. Ein Drehschalter bestimmt die Richtung, in die der Schlitten bewegt werden soll. Der Drehschalter erfordert eine zweite Betätigung, um wieder in die neutrale Stellung zu gelangen. Diese Art der Bedienung muss gegen Fehlbedienung geschützt werden. Ist beispielsweise eine Endlage erreicht und der Schalter wird falsch bedient, darf das System nicht reagieren, um Beschädigungen zu vermeiden. Die zweimalige Betätigung lässt eine stufenlose Höheneinstellung und schnelle Richtungsumkehr zu. Das gesamte Hubelement mitsamt Antrieb ist auf einer Laufrollenführung am Eisenbahnwagen befestigt. Diese ermöglicht eine seitliche Verschiebung der gesamten Halterung. Da diese Verschiebung nicht mit einer fest im Fußboden verbauten N-Schiene (Siehe Variante 1, S. 31) realisiert werden kann, ist bei der Variante 2 keine solche Führung des Fahrradmoduls vorgesehen. Den Wechsel zwischen einem festen Sitz und einer seitlichen Verschiebung wird durch ein elektrisches Steuermodul ermöglicht, das an einer Haltestange im Eisenbahnwagen angebracht ist. Mit diesem Modul lässt sich die gesamte Halterung einfach bewegen und der notwendige Freiraum für die Benutzung kann geschaffen werden. Bei dieser Variante ist das Vorderradmodul fest mit dem Schlitten des Hubmoduls verbunden. Das Vorderradmodul

hat eine von dem Fahrradmodul getrennte V-Schiene. Die V-Schiene des Vorderradmoduls nimmt allein das Vorderrad auf. Befestigt wird das Vorderrad durch einen Zahnriemen, der variabel in unterschiedlichen Längen mittels Rastklemme einstellbar ist. Für verschiedene Raddurchmesser sind mindestens zwei Zahnriemen in unterschiedlichen Höhen am Vorderradmodul vorhanden. Die V-Schiene des Fahrradmoduls ist gelagert am Vorderradmodul mit einer Schraubenverbindung montiert. Am Ende der V-Schiene befindet sich an der Unterseite eine schwenkbare Rolle, die als bewegliche Abstützung auf dem Fahrzeugboden die seitlichen Verschiebungen der gesamten Halterung unterstützt.

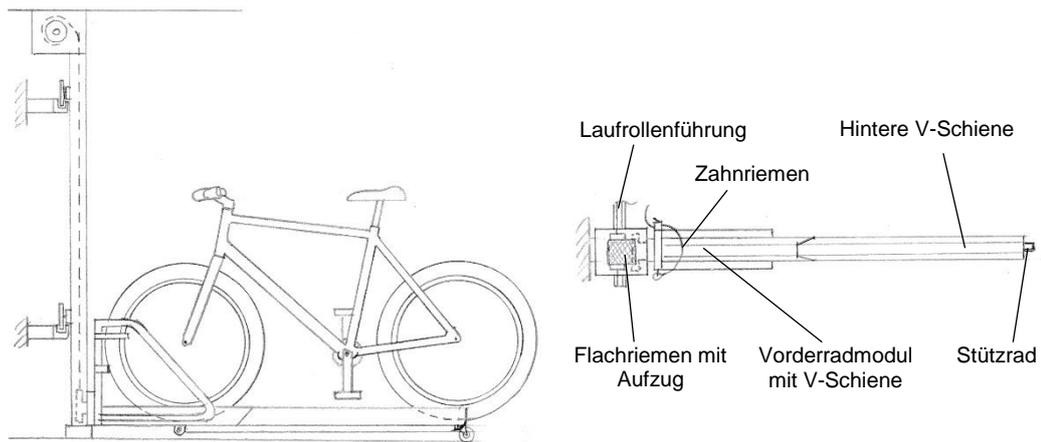


Bild 22: Skizze der Lösungsvariante 2

Funktion

Gleich der ersten Variante befindet sich die Ruhestellung der Halterung in der gehobenen Position. Vor jedem Gebrauch muss zunächst die Halterung in die untere Stellung gefahren werden. Grund dafür ist der geringere Platzverbrauch in der oberen Position und die minimierte Stolpergefahr. In der unteren, waagerechten Stellung sind die beiden getrennten V-Schienen des Fahrrad- und Vorderradmoduls bündig aneinander ausgerichtet. Somit kann das Fahrrad auf die Schiene geschoben und das Vorderrad am Anschlag des Vorderradmoduls mit dem passenden Zahnriemen fixiert werden. Nachdem das Vorderrad fixiert ist, steht das Fahrrad selbstständig in der Halterung. Nach Beachtung der richtigen Bedienungsrichtung des Dreheschalters kann das Fahrrad in die Transportstellung (Siehe Bild 23, S. 35) gebracht werden. Nach der Aktivierung bewegt sich das Vorderradmodul mit dem Schlitten des Hubmoduls vertikal in die Höhe. Durch die Trennung der V-Schiene schwenkt der Teil des Hinterradmoduls aus. Die V-Schiene des Fahrradmoduls bleibt durch die Rolle in Kontakt mit dem Fußboden. Der vordere Teil der Schiene wird durch die Verbindung mit dem Vorderradmodul in die Höhe befördert. Das Hinterrad verbleibt auf der Schiene und ist ebenfalls durch einen Zahnriemen gesichert. Die Rolle an der V-Schiene verhindert durch die Bewegung der V-Schiene eine Beschädigung des Fußbodens. In der

oberen Stellung der Halterung ist das Fahrradmodul nahezu senkrecht und wird durch eine Sicherung in Position gehalten.

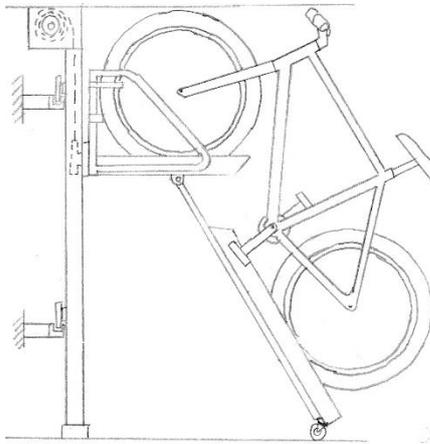


Bild 23: Skizze der Transportstellung der Variante 2

5.5.3 Variante 3 - Spindeltriebssystem

Die dritte Variante im Bild 24, S. 36, verzichtet auf eine Form der elektrischen Unterstützung. Ein Spindeltrieb sorgt für die Bewegung in die Höhe und wird mit einer Kurbel mechanisch betrieben. Durch eine entsprechende Übersetzung in Form eines Getriebes wird ein Kompromiss aus geringem Kraftaufwand und maximalen Weg pro Kurbelumdrehung getroffen. Der Kurbeltrieb ist dabei mit einer Verlängerung am oberen Ende der senkrechten Führungsschiene des Hubmoduls über ein Getriebe mit dem Spindeltrieb verbunden. Die Verlängerung ist so gewählt, dass Nutzer mit unterschiedlichen Körpergrößen berücksichtigt werden. Durch das Wegfallen einer Unterstützung kann auf eine Energiezufuhr verzichtet werden. Für das Fahrradmodul ist ein umlaufender Bügel vorgesehen. Der Bügel besteht aus zwei parallelen Strängen, die an beiden Enden geschlossen sind. Um scharfe Kanten zu vermeiden sind die Enden abgerundet. Für entsprechende Auflagepunkte der Laufräder sind an verschiedenen Stellen zwischen den Bügeln Querstreben eingeschweißt. Die Anordnung der Querstreben für die Hinterräder berücksichtigen dabei unterschiedliche Fahrradlängen (vom Kinderrad bis E-Rad). Maßtoleranzen bei den Abständen bewirken dabei eine gewisse Flexibilität. Die Toleranzen sind notwendig, um einen sicheren Sitz der Hinterräder auch bei variierenden Rahmengrößen zu ermöglichen. Der Bügel ist ähnlich der Doppel-U-Schiene bei Variante 1 am Schlitten des Hubmoduls befestigt. Am anderen Ende ist der Bügel auf einer Laufrolle beweglich gelagert. Die Laufrolle läuft auf der mittigen Ausprägung der Laufschiene. Dementsprechend muss die Laufrolle die Negativform der Laufschiene aufweisen. Die fest am Hubmodul montierte Laufschiene stellt keine Stolpergefahr dar, da sie durch die Form

und die niedrige Bauhöhe keine Stolperkante aufweist. Das Vorderradmodul ist eine Art Keil, der auf den Bügel geklemmt und verschraubt wird. Dazu gehört außerdem noch ein höhenverstellbarer Zahnriemen, der das Vorderrad fest mit dem Halter verbindet. Zusätzlich wird der Zahnriemen, nachdem die Höhe an das Vorderrad angepasst ist, mit einem Spannhebel arretiert. Für eine seitliche Verschiebung bei mehreren nebeneinander verbauten Halterungen im Eisenbahnwagen, werden diese auf einer Teleskopschiene montiert. Dabei ist jeder Halter auf einem eigenen Teilstück angebracht. Damit die Laufrollenschiene diese Bewegung nicht verhindert, ist diese ebenfalls auf mindestens zwei Führungsschienen gelagert. Dadurch kann die gesamte Halterung inklusive der Laufrollenschiene bewegt werden. Eine genaue Erklärung des Prinzips der seitlichen Verschiebung ist im Kapitel 5.5.4, S. 37, zu finden.

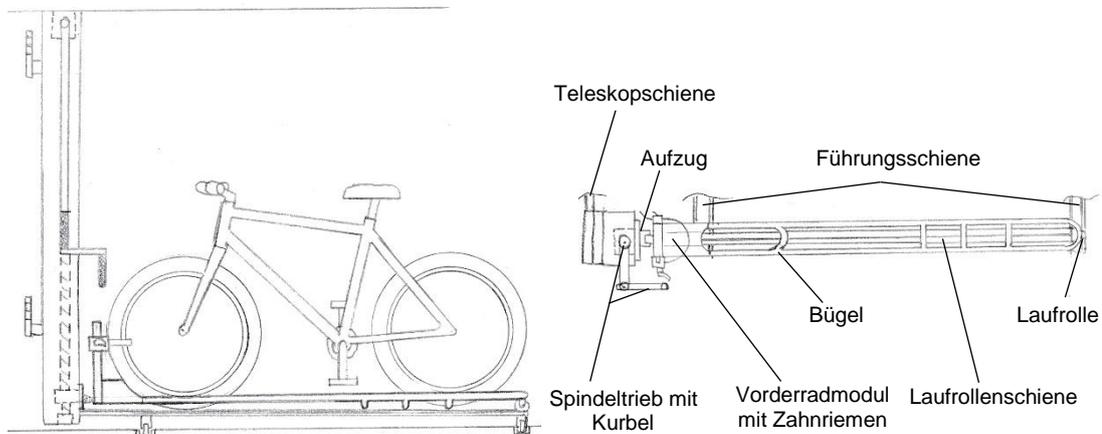


Bild 24: Skizze der Lösungsvariante 3

Funktion

Die Bedienung des Halters ähnelt in den Abläufen den ersten beiden Varianten. Jedoch muss zuvor die Teleskopschiene aktiviert werden, um die Zugänglichkeit der Fahrradhalterung zu erreichen. Ein weiterer Unterschied zu den Varianten 1 und 2, die eine Hubunterstützung aufweisen, besteht darin, dass die Ruheposition der Variante 3 in der horizontalen Ebene ist. Das Fahrrad kann also direkt zwischen beide Holme des Bügels geschoben werden, bis das Vorderrad am Keil anliegt. Um den Zahnriemen in der Höhe zu verstellen, muss zunächst der Spannhebel gelöst und anschließend wieder fixiert werden. Ist die Höhe eingestellt, muss das Vorderrad mit dem Zahnriemen befestigt werden. Sobald der Zahnriemen fest eingerastet ist, steht das Fahrrad selbstständig im Halter. Um das Fahrrad in die Transportposition (Siehe Bild 25, S. 37) zu heben, wird über die Kurbel der Spindeltrieb aktiviert, wodurch der Schlitten mitsamt Fahrrad- und Vorderradmodul in die Höhe bewegt wird. Nach Gebrauch wird die Kurbel seitlich am Hubmodul befestigt. Ist das Fahrrad in die Transportposition gebracht worden, kann die Teleskopschiene wieder

zusammengeschoben werden. Um das Fahrrad wieder in die horizontale Ebene zu befördern, muss der Bewegungsablauf in umgekehrter Reihenfolge ausgeführt werden.

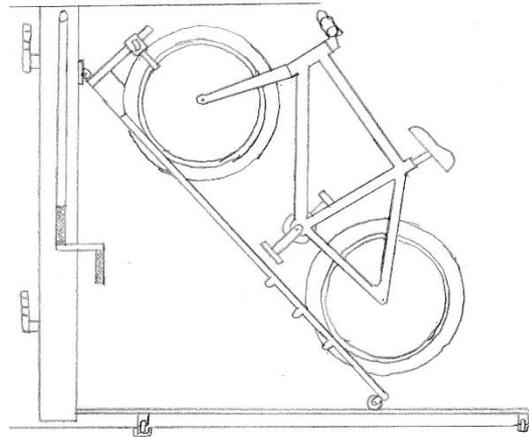


Bild 25: Skizze der Transportstellung der Variante 3

5.5.4 Erklärung der Funktion – Seitliche Verschiebung

Die grundlegende Idee der seitlichen Verschiebbarkeit der Varianten 2 und 3 dient dem flexiblen Anpassen des Platzbedarfs. Um beim Transport den Platzverbrauch aller Halterungen so gering wie möglich zu halten, werden sie so eng wie möglich zusammengeschoben. Beim Be- und Entladen, also dem normalen Gebrauch, ermöglicht das Verschieben der jeweiligen Halterungen den notwendigen Platz zum Bedienen zu schaffen. Dabei müssen bei der Verschiebung des gewünschten Halters auch andere notwendige Halterungen verschoben werden können.

Eine große Schwierigkeit bei Variante 2 besteht darin, dass nur die Halterungen gelöst und seitlich verschoben werden dürfen, die für eine gute Erreichbarkeit des gewünschten Halters erforderlich sind. Dabei ist auch zu beachten, dass die anderen Fahrräder nicht beschädigt oder zu unkontrolliertem Verhalten neigen. Problematisch stellt sich die Situation eines mittleren Halters dar (Siehe Bild 26, S. 38). Als Beispiel soll der dritte Halter zugänglich gemacht werden. Im ersten Schritt müssen dazu alle Halter 1 zusammen nach rechts bewegt werden, damit links des dritten Halters der Abstand vergrößert wird. Im zweiten Schritt müssen dann die Halter 2 erneut weiter nach rechts verschoben werden, um den mittleren Stellplatz zu isolieren. Nach diesem Vorgang ist der notwendige Freiraum für die Benutzung geschaffen worden. Am Ende dieses Vorgangs sollen sich alle bewegten Halter gleichzeitig arretieren. Nach dem Be- bzw. Entladen des entsprechenden Halters, müssen alle verschobenen Halterungen wieder in die kompakte Stellung zurückkehren. Das Zusammenschieben muss auch gewährleistet sein, nachdem der Nutzer des mittleren Halters den Eisenbahnwagen bereits verlassen hat. Dementsprechend sind Maßnahmen

erforderlich, damit dieser Vorgang im Zweifelsfall selbstständig passiert. Dafür bietet sich eine elektrische Steuerung an, welche mittels einmaliger Eingabe durch den Nutzer den gewünschten Halter automatisch separiert und nach einer vorgeschriebenen Dauer alle Halter wieder in die Ausgangsstellung zurückfährt.

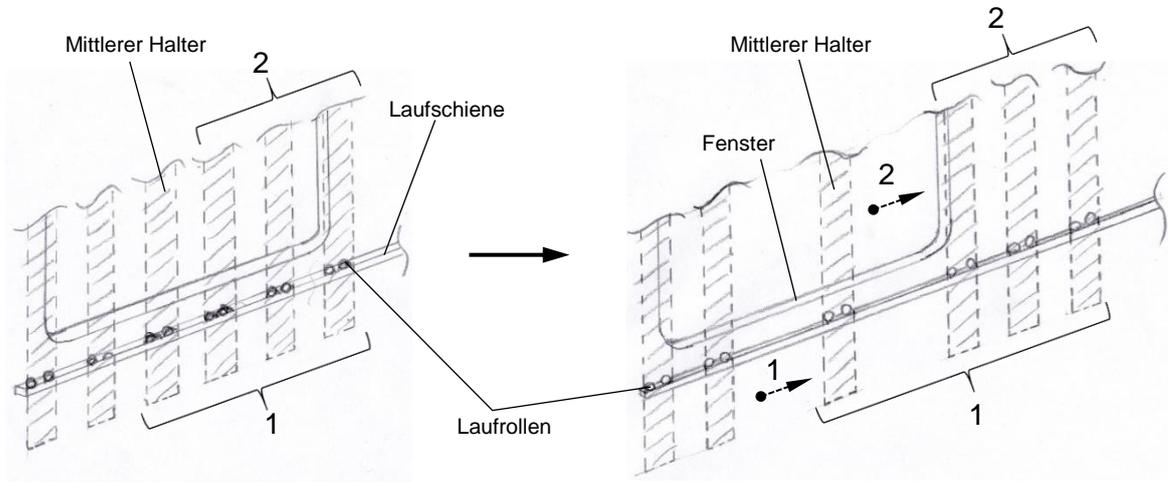


Bild 26: Prinzip der seitlichen Verschiebbarkeit von Variante 2

Die Teleskopschiene in Variante 3 verschiebt alle Halterungen gleichzeitig (Siehe Bild 27). Dabei gibt es zwei Zustände der Teleskopschiene. Im eingefahrenen Zustand sind alle Halterungen mit minimalsten Abstand kompakt zusammengeschoben. Im ausgefahrenen Zustand ist die Teleskopschiene maximal ausgefahren, sodass zwischen jeder Halterung der gleiche Freiraum vorliegt. Demzufolge kann im ausgefahrenen Zustand jede Halterung gleichermaßen Be- und Entladen werden. Wird der erhöhte Freiraum zwischen den Haltern nicht mehr benötigt, schiebt sich die Teleskopschiene wieder zusammen. Als Sicherheitsmaßnahme muss gewährleistet sein, dass beim Zusammenschieben kein Fahrgast eingeklemmt, gefährdet oder verletzt werden kann.

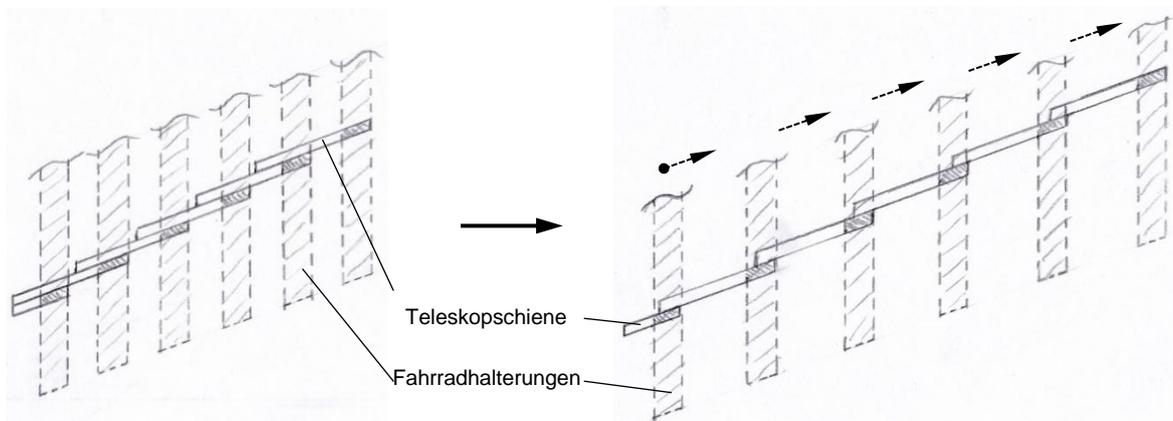


Bild 27: Prinzip der seitlichen Verschiebung der Variante 3

5.5.5 Bewertung und Auswahl der Lösungsvarianten

Die Bewertung der Varianten erfolgt mit Hilfe der Bewertungstabelle (Siehe Tabelle 9). Die Lösungsvarianten werden mit einem bis drei Punkten bewertet, die anschließend mit der Wichtung verrechnet werden. Dabei wird pro Bewertungskriterium jede Punktzahl nur einmal vergeben. Auf diese Art werden die Lösungsvarianten untereinander verglichen und durch die prozentuale Wichtung kristallisiert sich schließlich die beste Variante heraus.

Tabelle 9: Bewertungstabelle für die Variantenauswahl

Position	Kriterium	Variante 1		Variante 2		Variante 3		Prozent [%]
1	Bauhöhe (H = 2070 mm)	3	40,8	1	13,6	2	27,2	13,6
2	Hohe Variabilität	2	25,4	1	12,7	3	38,1	12,7
3	Hohe Sicherheit	3	38,1	1	12,7	2	25,4	12,7
4	Robustheit gegen Umwelteinflüsse	3	35,4	1	11,8	2	23,6	11,8
5	Hohe Beständigkeit/ Lebensdauer	3	32,7	1	10,9	2	21,8	10,9
6	Transportschutz	3	27,3	2	18,2	1	9,1	9,1
7	Einfache Handhabung	3	21,9	1	7,3	2	14,6	7,3
8	Geringer Platzbedarf	1	7,3	2	14,6	3	21,9	7,3
9	Einfacher Aufbau	3	19,2	1	6,4	2	12,8	6,4
10	Ergonomische Bedienung	1	5,5	3	16,5	2	11	5,5
11	Geringer Zeitaufwand beim Bedienen	3	8,1	1	2,7	2	5,4	2,7
Σ		27	261,7	15	127,4	24	210,9	100

In Tabelle 10 ist das zusammengefasste Ergebnis der gesamten Bewertung dargestellt. Die Lösungsvarianten sind dabei nach den Gesamtpunkten sortiert, sodass die beste Variante an oberster Stelle steht. Die Punkte mit Berücksichtigung der Wichtung zeigen das Verhältnis von der Maximalpunktzahl.

Tabelle 10: Zusammengefasstes Ergebnis der Variantenbewertung

Position	Variante	Punkte	Punkte mit Wichtung	[%]
1	Variante 1 – Seilzugsystem	27 / 33	261,7 / 300	87,2
2	Variante 3 – Spindeltriebssystem	24 / 33	210,9 / 300	70,3
3	Variante 2 – Flachriemensystem	15 / 33	127,4 / 300	42,5

Die erste Lösungsvariante erreicht mit einem Wert von 261,7 Punkten 87,2 % der Maximalpunktzahl und stellt sich als die beste Variante heraus. Entsprechend dieser Erkenntnis wird die erste Variante im weiteren Verlauf der Arbeit konstruktiv umgesetzt. Mit einem Abstand von 16,9 Prozentpunkten befindet sich die dritte Lösungsvariante auf dem zweiten Platz.

6 Konstruktive Gestaltung

Im Folgenden wird das konstruktive Design der Variante 1 dargestellt. Die Bewertung hat ergeben, dass diese Variante die Ansprüche am besten erfüllt. Im weiteren Verlauf der Arbeit wird die Variante 1 konstruktiv umgesetzt. In der Konstruktion werden nach Möglichkeit Norm- und Kaufteile verwendet. Der notwendige Elektromotor als Antriebseinheit des Aufzugs, sowie die Steuerungs- und Bedientechnik sind bei der Umsetzung nicht dargestellt. In den technischen Zeichnungen und Grafiken wird der für die Hubvorrichtung vorgesehene Seilzug vereinfacht abgebildet, um das Wirkprinzip zu veranschaulichen. Die gesamte Konstruktion ist nicht bis in das letzte Detail ausgestaltet, da es sich lediglich um einen konzeptionellen Entwurf handelt. Der soll grob die Idee einer innovativen Fahrradabstellmöglichkeit aufzeigen und als Vorlage für weitere Gestaltungen dienen. Der Entwicklungsstand ist auf dem Niveau, dass Funktionen und Philosophie klar erkennbar sind und als Grundlage für spätere Konstruktionen im Eisenbahnwesen helfen kann.

6.1 Gesamtaufbau

Für einen Überblick der gesamten Halterung ist sie in ihren beiden Betriebspositionen Ruhe- bzw. Transport- und waagerechter Stellung im Bild 28 dargestellt. Die technische Zusammenbauzeichnung mit spezifischen Maßen in der Anlage E, S. 75, vermittelt einen besseren Eindruck der Gesamtdimension der Halterung.

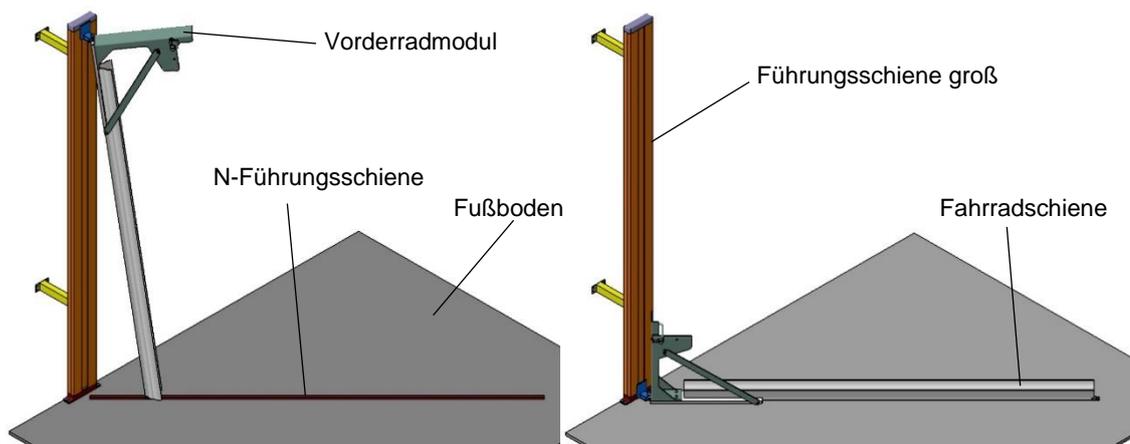


Bild 28: Beide Betriebspositionen der Fahrradhalterung

Die Explosionszeichnung der gesamten Halterung mit dazugehöriger Stückliste in den Anlage E, S. 75, zeigt den genauen Aufbau und die enthaltenen Bauteile.

Für den vollständigen Überblick der Fahrradhalterung, ist das Einfügen in die tatsächliche Umgebung unabdingbar. Aus diesem Grund wird eine realitätsnahe Anschauung an dieser Stelle angeführt. Die genauen Platzverhältnisse in beiden Betriebszuständen der Halterung im Doppelstockwagen sind im Bild 29 zu sehen. Die Anbringung der Fahrradhalterung auf einer Fahrzeugseite verhindert eine Anbringung von Haltemöglichkeiten für Fahrgäste an dieser Position. Der Fahrradhalter bietet jedoch die Möglichkeit die Haltemöglichkeit entlang der Decke in der Fahrzeugmitte anzubringen.

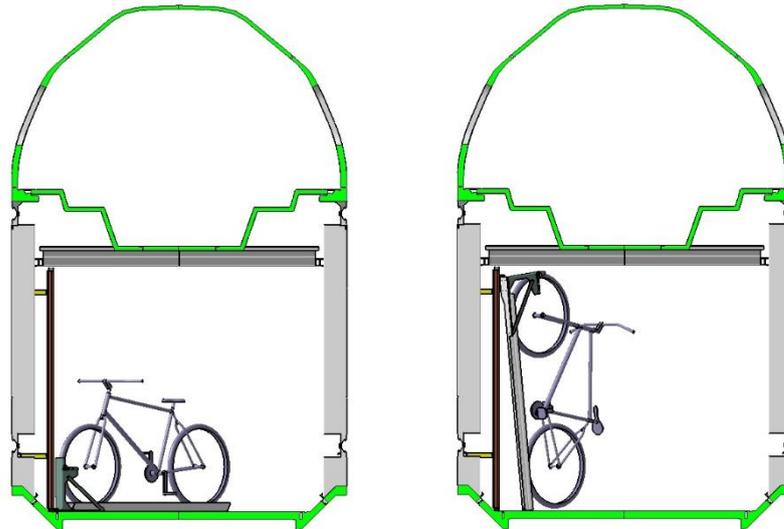


Bild 29: Darstellung beider Betriebspositionen im Doppelstockwagen von Alstom

Bild 30 zeigt eine Veranschaulichung einer seriellen Anordnung des Halters, für einen Transport mehrerer Fahrräder in dem von Alstom vorgegebenen Doppelstockwagen. Die technische Zeichnung (Siehe Anlage E, S. 75) zeigt die genauen Maße einer beispielhaften Reihung von zehn Halterungen nebeneinander. Der Abstand zwischen den Haltern ist so gewählt, dass breite Lenker zu keinen Komplikationen führen. Die obere Darstellung aus Bild 30 verdeutlicht einen geringen Platzverbrauch in der Transportstellung zur Mitte. Der Halter ganz links im Bild befindet sich in der Position zum Be- und Entladen. Die geringe Bauhöhe des Fahrradmoduls ermöglicht ein bequemes Abstellen des Fahrrades. Die spitzwinklige Position verhilft zu einer guten Erreichbarkeit des Vorderradmoduls, um es an das Vorderrad einzustellen.

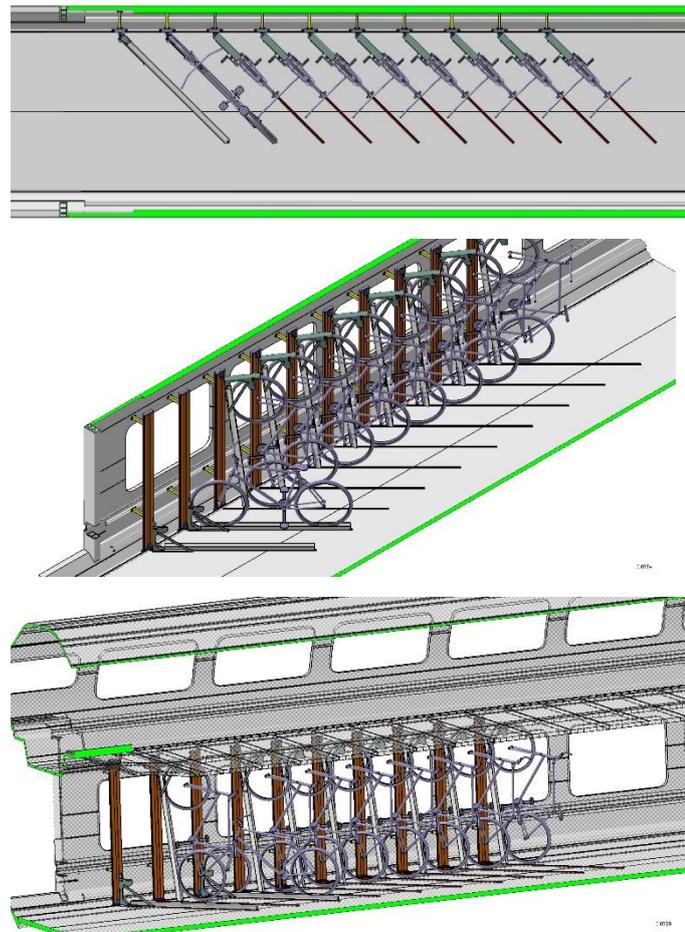


Bild 30 oben: Draufsicht auf die untere Etage, Mitte: Isometrische Ansicht der unteren Etage, unten: Darstellung der Halterungen im Wagen mit sichtbarer 2. Etage

Variationen bietet die Halterung bei der Bauhöhe des Hubmoduls und beim Winkel zwischen Hub- und Fahrradmodul. Bei dem Einbau in andere Eisenbahnwagen besteht die Möglichkeit der Anpassung an die jeweiligen Bedingungen des Wagentyps.

Bild 31, S. 43, zeigt etwa das Maximum an möglichen Halterungen, die in dem vorgegebenen Doppelstockwagen in der unteren Etage verbaut werden können. Bei einem konstanten Abstand zwischen den Halterungen und ohne Beachtung von weiteren Bauteilen, die im Eisenbahnwagen installiert werden, kann ein Maximum von etwa 15 Halterungen an einer Wagenseite entlang eingebaut werden. Die tiefen Einstiege zwischen den Drehgestellen lassen keine vollständige Ausnutzung der unteren Etage zu.

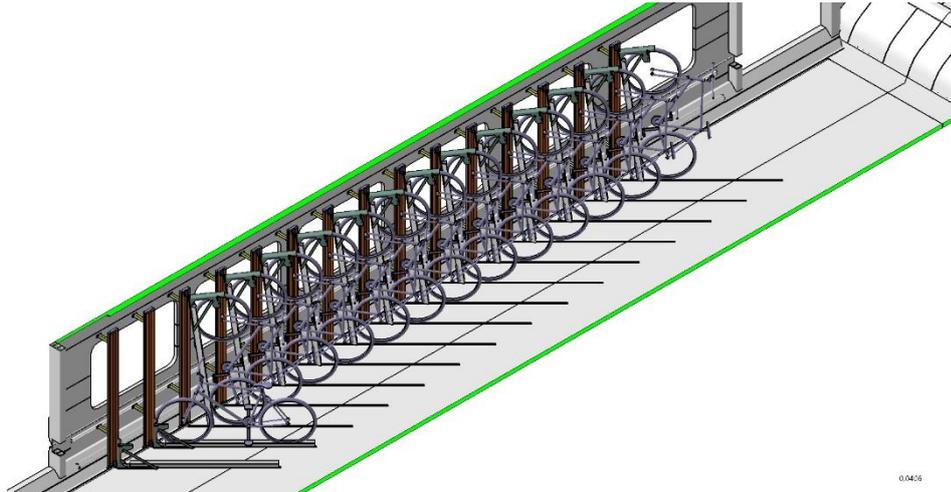


Bild 31: Maximale Anzahl an möglichen Stellplätzen im Doppelstockwagen von Alstom

6.2 Beschreibung der einzelnen Module

Wie in der Beschreibung der Lösungsvariante 1 (Siehe Kapitel 5.5.1, S. 31) ersichtlich, ist ein modularer Aufbau der Halterung vorgesehen. Dabei ist die Halterung in drei Hauptmodule unterteilt, die sich im Wesentlichen nach deren Hauptfunktionen richten.

6.2.1 Hubmodul

Das Hubmodul im Bild 32, S. 44, ist das Kernstück der Halterung. Es ist das tragende Element der Halterung und ist kraftschlüssig im Eisenbahnwagen verbaut. Zusätzlich enthält es die Antriebs-, Steuer- und Bedieneinheit und die Verbindung zum Fahrradmodul. Die Hauptaufgabe ist dabei das Heben des Fahrrads in die Transportposition. Das Hauptelement ist die vertikale Führungsschiene in der ein Aufzugsschlitten linear geführt wird. Der Schlitten ist mittels Gleitführung innerhalb der Führungsschiene beweglich.

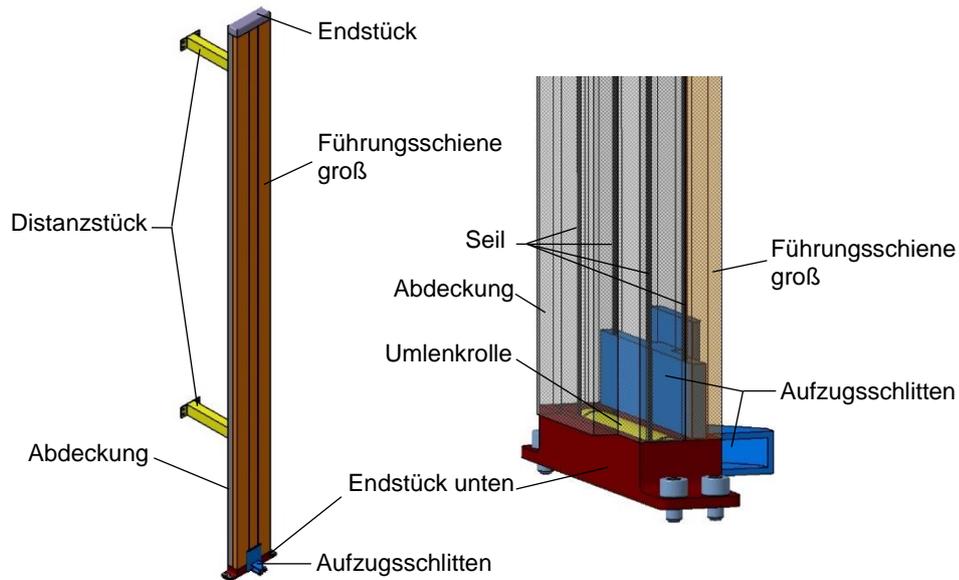


Bild 32: Darstellung des Hubmoduls

Eine Besonderheit bei der Gestaltung des Aufzugsschlittens ist die abgewinkelte Aufnahme, an der das Fahrradmodul befestigt wird. An beiden Enden ist die Führungsschiene mit einem Endstück geschlossen. Die Endstücke sind gleichzeitig die Aufnahme und Lagerung der beiden Umlenkrollen des Seilzugs. Vorgesehen ist, dass der Elektromotor die obere Umlenkrolle antreibt und innerhalb eines externen Gehäuses am oberen Ende der Führungsschiene angebaut werden muss. Der Seilzug überträgt das Drehmoment des Elektromotors auf den Aufzug. Für den Schutz des Aufzugsschlittens ist er von der Führungsschiene vollständig umbaut. Durch den geringen Bauraum muss der Seilzug so verlegt werden, dass nur ein Strang innerhalb der Führungsschiene verläuft und am Schlitten befestigt wird. Die Umlenkrollen in den Endstücken sind mittig über der Führungsschiene positioniert, sodass der zweite Strang des Seilzuges außerhalb verlegt werden kann. Für eine Unterstützung des Antriebs ist am zweiten, außenliegenden Strang des Seilzuges ein Gegengewicht integriert (Siehe Bild 33, S. 45), das sich entgegengesetzt zum Aufzugsschlittens bewegt. Für den Schutz vor Umwelteinflüssen schirmt eine Abdeckung den zweiten Strang und das Gegengewicht vor Schmutz und Feuchtigkeit ab. Für mehr Stabilität sind an der Abdeckung zwei Aufnahmen integriert, an denen jeweils ein Distanzstück montiert wird. Die Distanzstücke überbrücken den Abstand und befestigen den Halter an der Wand.

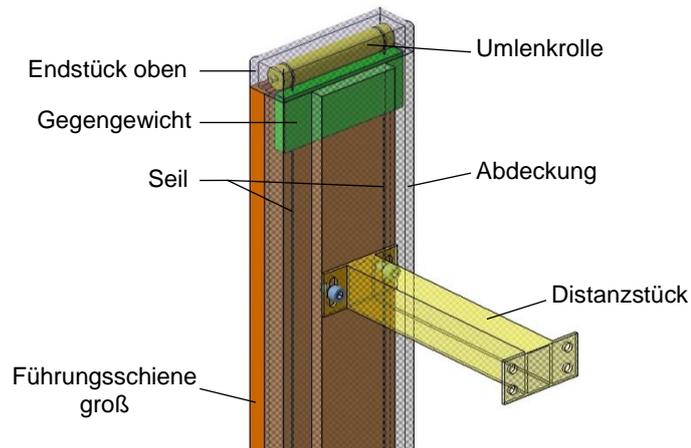


Bild 33: Blick hinter die Abdeckung mit Sicht auf das Gegengewicht

6.2.2 Fahrradmodul

Das Fahrradmodul im Bild 34 besteht aus drei wesentlichen Bauteilen, wobei die Fahrradschiene das Hauptbauteil ist. Die Funktion der Fahrradschiene ist die Aufnahme und Positionierung des gesamten Fahrrades.

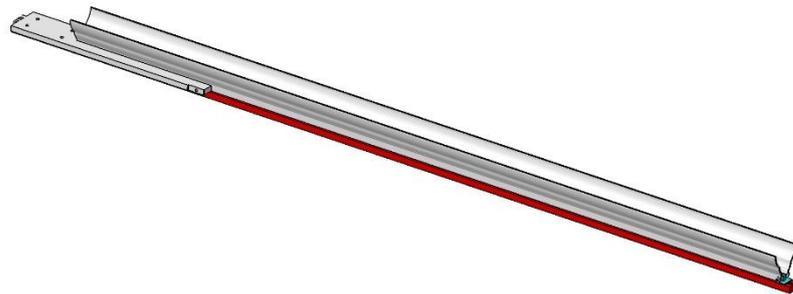


Bild 34: Darstellung des Fahrradmoduls

Eine Doppel-U-Form der Fahrradschiene sorgt für mehr Flexibilität durch die Fähigkeit unterschiedliche Reifenbreiten aufzunehmen. Am vorderen Ende ist die Fahrradschiene mit der Aufnahme für den Aufzugsschlitten des Hubmoduls versehen. Das andere Ende im Bild 35 wird durch einen Gleitwagen auf einer direkt unter der Fahrradschiene befindlichen N-Führungsschiene abgestützt. Die N-Führungsschiene ist im Fußboden des Eisenbahnwagens ebenerdig versenkt. Das Versenken vermeidet Stolperkanten und trägt zu höherer Sicherheit bei. Die Versenkung der N-Führungsschiene ist möglich, da sie unabhängig vom Fußboden direkt auf den Wagenkasten geschraubt wird. Der Fußboden muss dementsprechend für die Positionen der Führungsschienen vorbereitet werden.

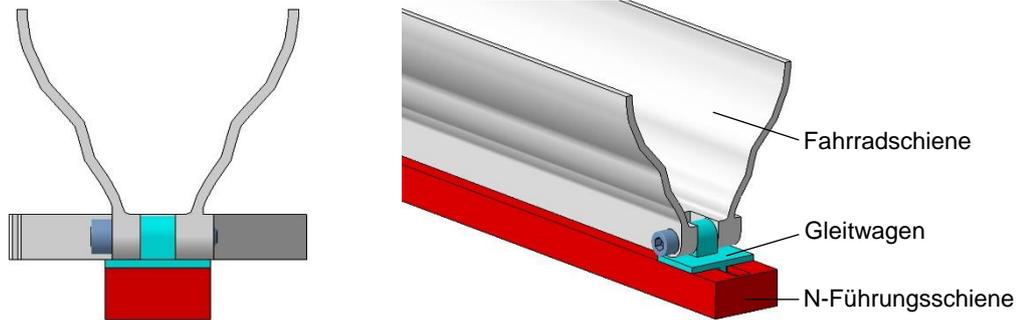


Bild 35 links: Doppel-U-Form der Fahrradschiene,
rechts: Einzelteile des Fahrradmoduls

6.2.3 Vorderradmodul

Das Vorderradmodul im Bild 36 ist fest auf der Fahrradschiene verschraubt. Das Kernstück ist der Radträger als größtes Bauteil. Der Radträger besteht neben dem Flansch zur Montage auf der Fahrradschiene zum einen aus der Rückwand, gegen die der Vorderradreifen drückt und zum anderen aus der Seitenwand, die die seitlichen Bewegungen des Vorderrads begrenzt und als Tragelement aller weiteren Komponenten des Vorderradmoduls dient. Eine Stützstrebe sorgt für zusätzliche Stabilität, dient als weitere seitliche Begrenzung und schützt das Vorderrad.

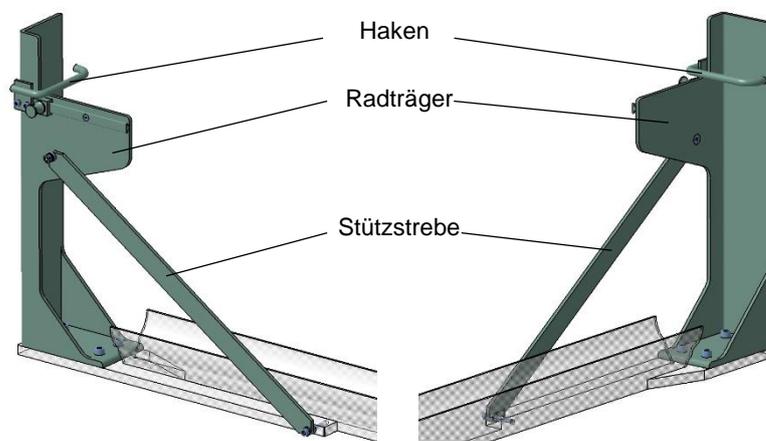


Bild 36: Zwei Perspektiven des gesamten Vorderradmoduls
mit angedeuteter Fahrradschiene

Im Bild 37, S. 47, sind die Einzelteile des Vorderradmoduls dargestellt. Im oberen Drittel des Radträgers ist eine Profilschiene angeschraubt, auf der ein entsprechender Profilschlitten beweglich geführt wird. Auf dem Profilschlitten ist ein Rastbolzen verschraubt. Eine innenliegende Feder im Rastbolzen drückt im entspannten Zustand einen Stift in vorgesehene Löcher in der Profilschiene, wodurch der Profilschlitten kraftschlüssig an der

Profilschiene arretiert ist. Zum Betätigen muss am Knauf des Rastbolzens gezogen werden, wodurch die Feder gespannt, die kraftschlüssige Verbindung gelöst wird. Nach Lösen der Arretierung kann der Profilschlitten entlang der Schiene verschoben werden. Auf dem Profilschlitten ist zusätzlich ein Haken verschraubt, in dem das Vorderrad eingehängt wird. Um die Felgen zu schützen ist ein entsprechender Schutzüberzug auf dem Haken notwendig. Wichtig ist dabei, dass selbst hochwertige Felgen aus Kohlefaser oder Aluminium nicht beschädigt werden. Auf dem Haken lastet in der Transportposition das gesamte Gewicht des Fahrrades. Entsprechend der Belastungen müssen die Arretierung und der Haken dimensioniert sein, um das Fahrrad sicher in der Halterung zu verstauen.

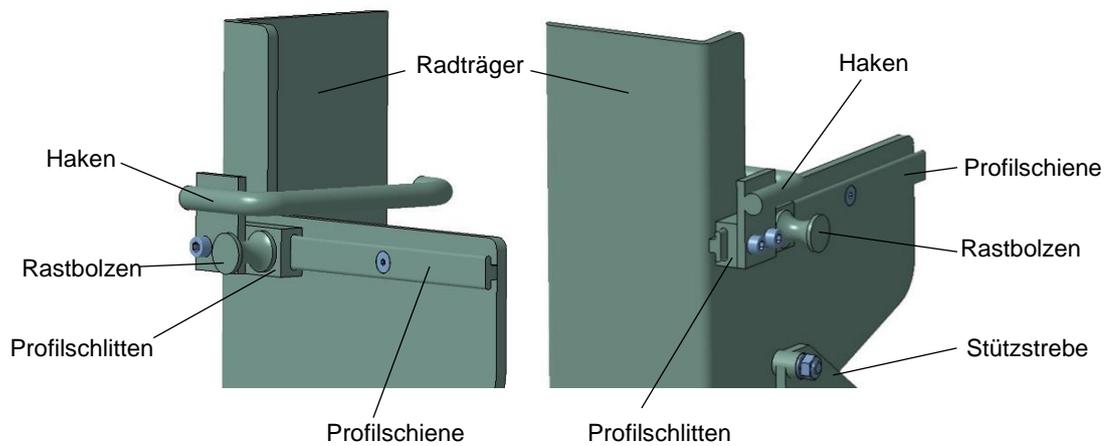


Bild 37: Übersicht der Einzelteile des Vorderradmoduls

6.3 Funktion und Benutzung

Im Folgenden wird der gesamte Funktionsablauf für den Gebrauch der Halterung Schritt für Schritt erklärt. Die Erklärung bezieht sich dabei auf die Befestigung eines Fahrrades. Vorausgesetzt wird dabei, dass der Passagier bereits den Eisenbahnwagen betreten hat. Bevor der Passagier das Fahrrad in eine freie Halterung schieben kann, muss diese zuerst aus der vertikalen Ruheposition in die waagerechte Position gebracht werden (Siehe Bild 38, S. 48).

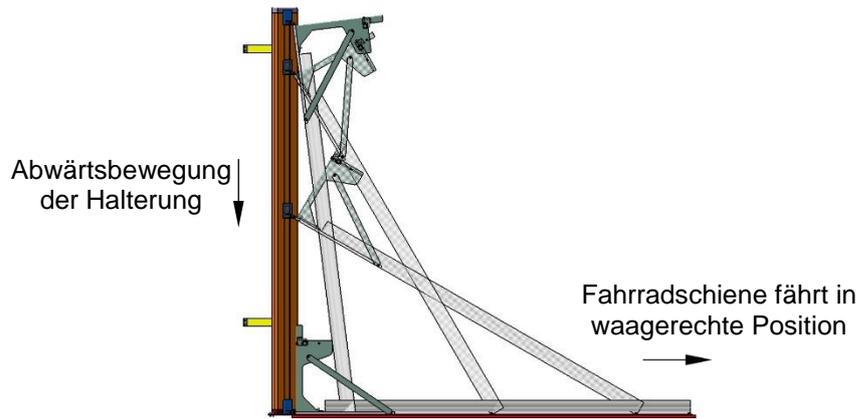


Bild 38: Bewegungsablauf der Halterung abwärts

Hat der Halter die waagerechte Position erreicht, kann das Fahrrad auf die Halterung geschoben werden (Siehe Bild 39 oben). Die Doppel-U-Form der Fahrradschiene gewährleistet bei verschiedenen Reifenbreiten einen optimalen Sitz der Laufräder (Siehe Bild 39 unten).

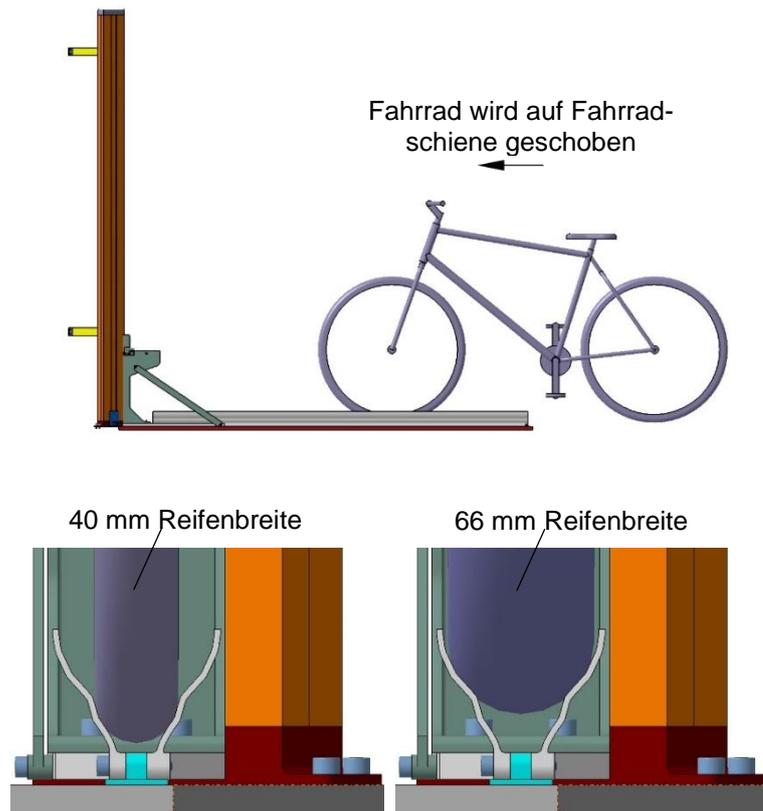


Bild 39 oben: Beladevorgang der Halterung, unten: Sitz der Räder in der Doppel-U-Schiene bei unterschiedlicher Reifenbreite

Für die Sicherung des Fahrrades in der Halterung ist im Bild 40 der Ablauf am Vorderradmodul dargestellt. Bild 40 (1.) zeigt die Ausgangsstellung des Vorderradmoduls. Als ersten Schritt muss der Rastbolzen (Siehe Bild 40 (2.)) gelöst werden. Nach dem Lösen des Rastbolzens lässt sich der Profilschlitten mitsamt Haken bis zum Ende der Profilschiene verschieben, wo der Rastbolzen einrastet (Siehe Bild 40 (3.)). Der vergrößerte Abstand zwischen Haken und Radträger ermöglicht, dass das Vorderrad am Haken vorbeikommt. Das gesamte Fahrrad kann jetzt vollständig auf die Fahrradschiene geschoben werden, bis das Vorderrad gegen die Rückwand vom Radträger stößt (Siehe Bild 40 (4.)). Nach erneutem Lösen des Rastbolzens im Bild 40 (5.), wird der Profilschlitten soweit in die Richtung des Radträgers verschoben, bis der Haken an der Felge anliegt und der Rastbolzen im Bild 40 (6.) einrastet.

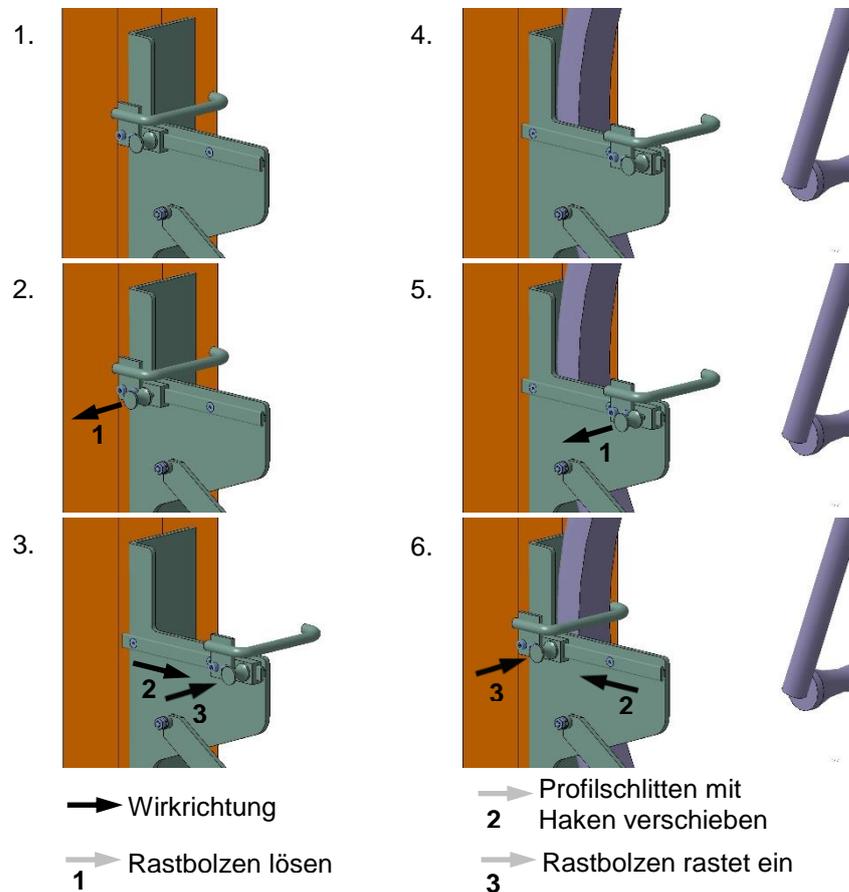


Bild 40 (1. – 6.): Ablauf der Sicherung des Vorderrads im Vorderradmodul.

Nachdem das Vorderrad auf diese Weise fixiert ist, steht das Fahrrad selbstständig in der Halterung und muss nicht mehr vom Nutzer festgehalten werden. Nach Bedarf können an dieser Stelle am Fahrrad befindliche Packtaschen abgenommen und verstaut werden. Die Einstiegszeit kann dadurch reduziert werden, da die Packtaschen nicht mehr im Vorhinein vom Fahrrad abgenommen werden müssen. Mehrere Reiseräder können problemlos in

ihren Fahrradhaltern während der Fahrt abgeladen werden. Anschließend muss der Nutzer per Steuer- und Bedieneinheit den Halter in die Transportstellung bringen. Dafür wird die obere Seilrolle vom Elektromotor angetrieben und der Aufzugsschlitten in die Höhe bewegt. Zur Unterstützung des Elektromotors fährt das Gegengewicht entgegengesetzt zum Aufzugsschlitten nach unten. Bild 41 zeigt den genauen Bewegungsablauf der Halterung in vier Etappen von der waagerechten Position in die Transportstellung.

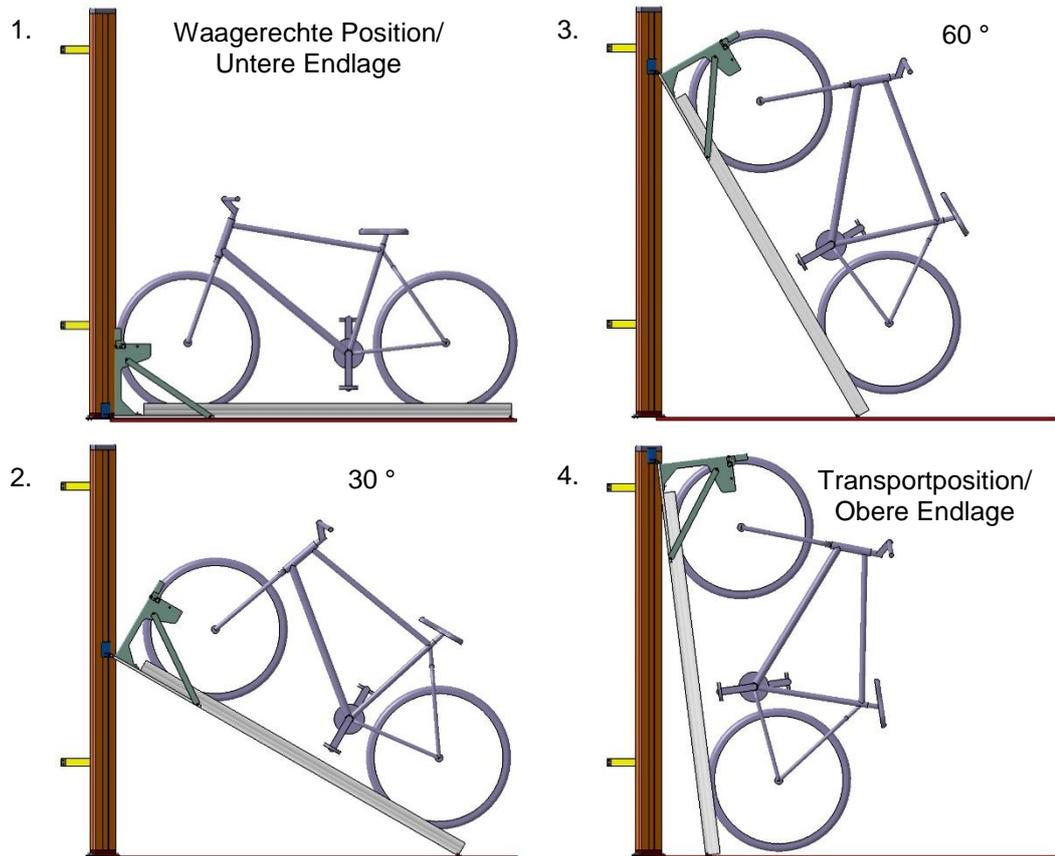


Bild 41: Bewegungsablauf der Halterung in die Transportposition

Die zwei markanten Stellen der Halterung in der Transportposition werden im Bild 42, S. 51, gezeigt. Im oberen Bild ist durch die Transparenz der Abdeckung das Gegengewicht in der unteren Endlage erkennbar. Das untere Bild veranschaulicht die Fixierung des Vorderrads in der Transportstellung. Die Position der Halterung in der Transportstellung ist so gewählt, dass beide Laufräder jeweils zur Decke oder zum Boden ausreichend Platz haben. Selbst weit nach unten gezogene Schutzbleche schleifen durch den Abstand nicht auf dem Boden und werden nicht beschädigt. Das in dem Bild gezeigte Fahrrad entspricht dem längsten gängigen E-Rad. Das Bild 42, S. 51, stellt außerdem eine allgemeine Übersicht der Halterung in der Transportstellung dar und verdeutlicht die zuvor beschriebenen Funktionen.

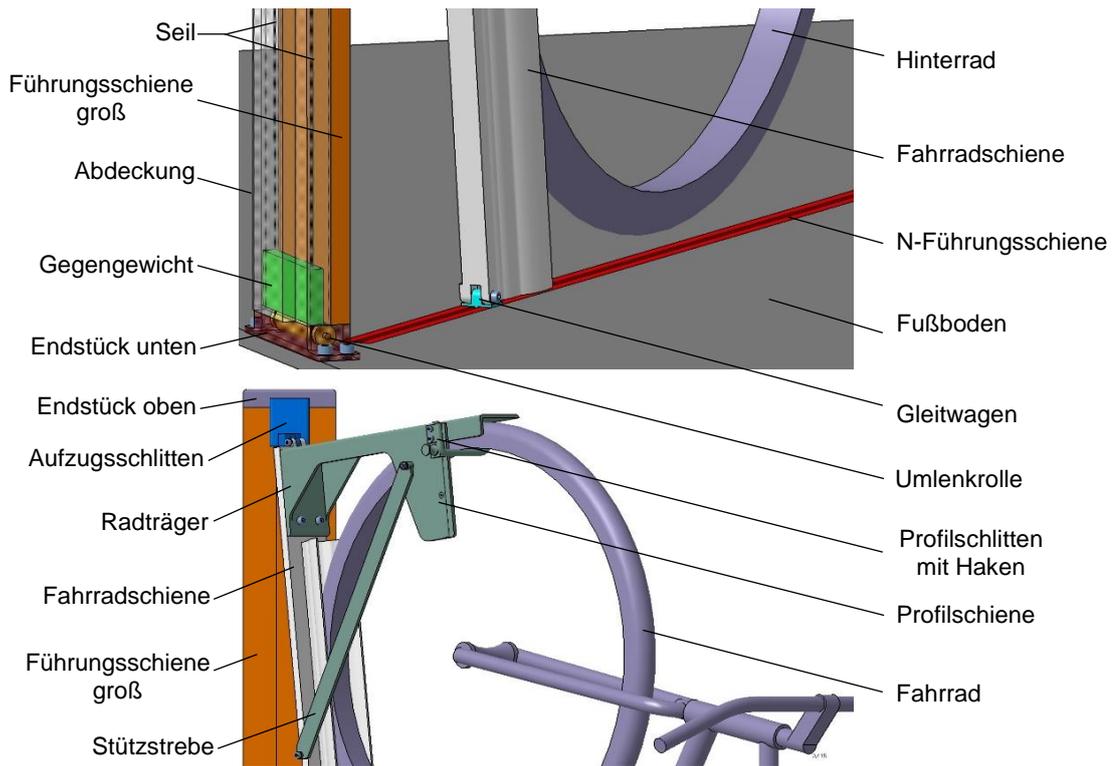


Bild 42: Darstellung der zwei markanten Stellen der Halterung in der Transportstellung

6.4 Konstruktionskritik

Die Aufgabe der Konstruktionskritik ist die Beurteilung der entworfenen Konstruktion. Dabei wird die Umsetzung der Anforderungsliste und der Aufgabenstellung analysiert. Mögliche Probleme und Fehler, die die Vorgaben aus der Anforderungsliste beeinträchtigen oder verhindern werden aufgedeckt. Ziel der Konstruktionskritik ist die allgemeine Verbesserung der Entwicklung und das Aufstellen von Möglichkeiten zur Problemlösung.

6.4.1 Beurteilung der Konstruktion

Die Konstruktion setzt die in der Aufgabenstellung und Anforderungsliste gestellten Ansprüche im hohen Maße um. Die Halterung erfüllt die Hauptaufgabe in einer Art und Weise, nach der es im Stand der Technik nach Kenntnis des Autors keine vergleichbaren Lösungen gibt. Die Halterung erreicht einen Kompromiss aus Flexibilität, Transportschutz und hoher Stellplatzanzahl. Vorteilhaft bei der Fahrradhalterung ist die Eingliederung in das Fahrzeuglayout, die Flexibilität und der Transportschutz. Als Teil der Innenausstattung kann die Halterung effektiv in das jeweilige Innenraumkonzept eingegliedert werden. Die Flexibilität spiegelt sich in der Möglichkeit wieder, dass alle gängigen Fahrradtypen gleichermaßen in der Halterung transportiert werden können. Durch die Variation an Stellplätzen können Bahngesellschaften ihre Fahrzeuge individuell anpassen und auf entsprechende Auslastungsschwankungen reagieren. Dem Fahrgast werden somit die bestmöglichen Bedingungen geschaffen. Eine Unterteilung in einzelne Module trägt zu einer Wartungs- und Reparaturfreundlichkeit bei. Die modulare Bauweise lässt die Umrüstung für weitere Anwendungsgebiete zu. Im Winter beispielsweise können an Stelle der Fahrräder Wintersportgeräte, wie Skier und Snowboards, transportiert werden. Dementsprechend muss das Fahrradmodul durch eine andere Aufnahme ausgetauscht werden. Diese Möglichkeit erhöht die Flexibilität und vergrößert das Einsatzgebiet der Halterung. Die Unterstützungsfunktion der Halterung erweitert die Möglichkeiten der Fahrradmitnahme. Faktoren wie Höhe des Hakens, Gewicht des Fahrrades oder Verfassung des Passagiers können durch die Unterstützungsfunktion eliminiert werden. Die vertikale Transportposition, im Zusammenhang mit der spitzwinkligen Lage im Fahrzeug wird der Platzverbrauch auf ein Minimum reduziert. Der daraus resultierende verfügbare Platz erhöht gleichzeitig die Sicherheit durch den breiten Flucht- und Rettungsweg. Die festgelegte Position jedes Fahrrades in der Halterung schließt jegliche Beschädigungen und Gefährdungen aus. Die Bedienung ist einfach und logisch gestaltet.

6.4.2 Nachteile und Änderungsvorschläge

Nachteilig bei der Konstruktion ist die Zugänglichkeit des Hubmechanismus (Siehe Punkt 1, Tabelle 11, S. 54). Die Position der Distanzstücke verhindert die Demontage der Abdeckkappe unabhängig von der Halterung. Um die Abdeckkappe abzunehmen muss die gesamte Halterung vom Eisenbahnwagen gelöst werden. Die Wartungsfreundlichkeit ist dadurch eingeschränkt und der Austausch des Seilzugs mit erheblichen Aufwand verbunden. Entsprechende Maßnahmen dafür sind eine Änderung der Aufnahme für die Wandbefestigung, eine Aufteilung der Abdeckung in mehrere Teilstücke oder der Einbau von Wartungsklappen.

Im Bild 43 sind die weitere Stellen an der Halterung markiert, die bezüglich Kostensenkung oder anderen Kriterien nachgearbeitet oder verbessert werden können. Die genauen Beschreibungen der dargestellten Änderungen sind in Tabelle 11, S. 54, zu finden. Die Änderungsvorschläge dienen der Optimierung der Konstruktion. Die Vorschläge beinhalten Möglichkeiten Herstellungskosten zu senken, Funktionen zu verbessern oder die Herstellung zu vereinfachen.

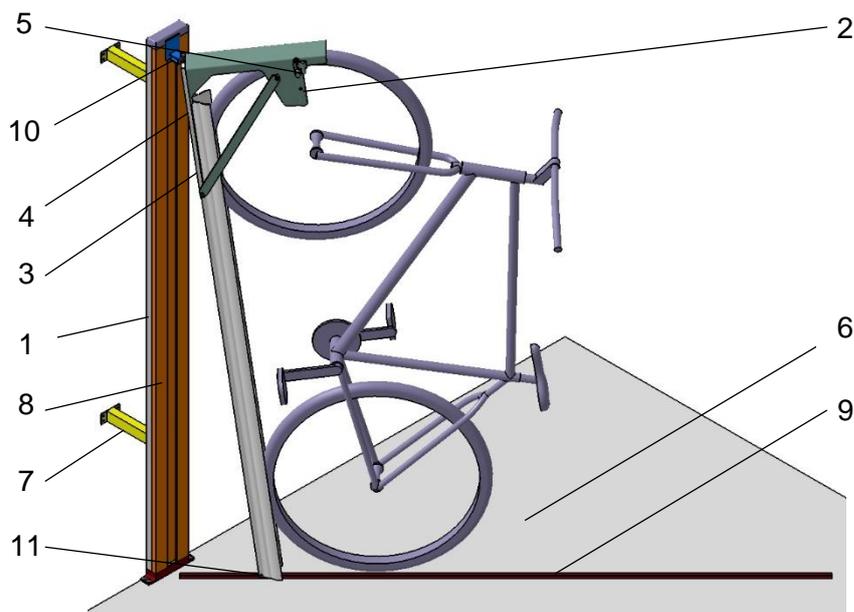


Bild 43: Positionen der Änderungsvorschläge

Tabelle 11: Beschreibung der Änderungen

Pkt.	Konstruktionsfehler
1	Die Zugänglichkeit zum Seilzug und Hubmechanismus ist durch die Abdeckung verhindert.

Pkt.	Änderungsvorschlag
2	Den Haken am Vorderradmodul unter Beachtung des Patents DE 10 2005 042 823 A1 [12] (Siehe Kapitel 3, S. 13) schwenkbar machen.
3	Die Gestaltung der Fahrradschiene ändern, den Materialeinsatz verringern und den Leichtbau mittels Wabenstruktur verbessern.
4	Die Befestigung des Radträgers auf der Fahrradschiene durch eine Gestaltänderung verbessern.
5	Die Gestaltung des Radträgers vereinfachen, um Herstellungskosten zu senken.
6	Mehr Flexibilität durch Hinzufügen und Integrieren von Sitzen unter Beachtung des Patents DE 195 39 757 A1 [9] (Siehe Kapitel 3, S. 15 f.) erreichen.
7	Die Funktion „Seitliche Verschiebbarkeit“ der Lösungsvariante 3 (Siehe Kapitel 5.5.4, S. 37 f.) in die Konstruktion übernehmen.
8	Die Verwendung von am Markt erhältlichen Lösungen und Normteilen ermöglicht eine Kostensenkung.
9	Die Verwendung von am Markt erhältlichen Lösungen und Normteilen ermöglicht eine Kostensenkung.
10	Eine Reibungsreduzierung durch die Verwendung von Rollenschlitten erreichen.
	Die Verwendung von am Markt erhältlichen Lösungen und Normteilen ermöglicht eine Kostensenkung.
11	Eine Reibungsreduzierung durch die Verwendung von Rollenschlitten erreichen.
	Die Verwendung von am Markt erhältlichen Lösungen und Normteilen ermöglicht eine Kostensenkung.

6.4.3 Beschreibung der Änderungsvorschläge

Nachdem das Fahrrad auf die Fahrradschiene geschoben wurde, muss zunächst der Profilschlitten am Vorderradmodul verschoben werden, um genügend Platz für das Vorderrad zu schaffen. Eine Verbesserung hierbei stellt eine Schwenkfunktion des Hakens dar (Siehe Punkt 2 in Tabelle 11). Dabei ist das Patent DE 10 2005 042 823 A1 [12] (Siehe Kapitel 3, S. 13) zu beachten. Damit die Flexibilität gleichbleibend gewährleistet ist, muss die Anpassung an unterschiedliche Felgenhöhen weiterhin vorhanden sein. Die Schwenkfunktion muss so gestaltet sein, dass sie durch einmalige Betätigung geöffnet und geschlossen werden kann. In beiden Zuständen muss der Haken fest einrasten und darf nur durch die Betätigung des Nutzers gelöst werden. Die Schwenkfunktion fügt dem

bestehenden Haken eine weitere Funktion hinzu, um die Anwenderfreundlichkeit zu erhöhen.

Bei den Punkten 3 und 4 der Tabelle 11, S. 54, handelt es sich um zwei unterschiedliche Verbesserungen der gleichen Struktur, die als eine Auswahl zu betrachten sind.

Bei Punkt 3 handelt es sich um einen Vorschlag die bestehende Struktur der Fahrradschiene zu optimieren. Eine Wabenstruktur in der Unterseite verbessert den Leichtbau und erhöht gleichzeitig die Stabilität. Die Wabenstruktur verringert den Materialeinsatz und senkt dadurch die Herstellungskosten. In diese Wabenstruktur müssen dennoch entsprechende Gewindebuchsen integriert werden, um den Radträger befestigen zu können.

Punkt 4 beinhaltet einen Änderungsvorschlag der Aufnahme, auf die der Radträger montiert wird. Die Änderung geht mit einer Änderung des Radträgers einher, der entsprechend an die neue Aufnahme angepasst werden muss. Bei diesem Punkt handelt es sich um eine mögliche Änderung, die die Herstellung der Fahrradschiene vereinfachen soll. Der Wegfall der Radträgeraufnahme ermöglicht die Ausführung der Fahrradschiene als reines Doppel-U-Profil. Der Radträger wird nach dessen Veränderung oben auf das Doppel-U-Profil gesetzt und seitlich an der Flanke verschraubt. Entsprechend muss die Fahrradschiene für eine solche Aufnahme gestaltet sein (Siehe Bild 44).

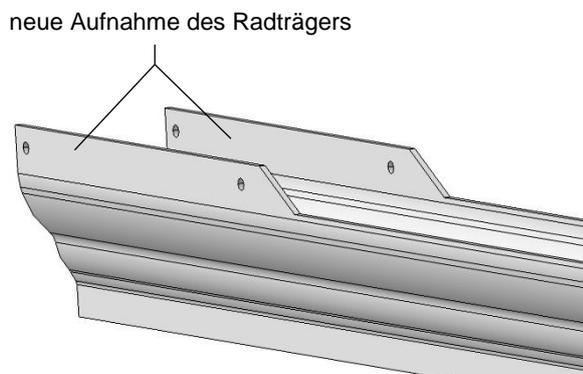


Bild 44: Änderungsvorschlag der Radträgeraufnahme an der Fahrradschiene

Der Punkt 5 sieht eine Senkung der Herstellungskosten durch eine vereinfachte Gestaltung des Radträgers vor. Die Konstruktion als ein Schweißteil, erhöht die Fertigungskosten und verursacht einen hohen Fertigungsaufwand. Es empfiehlt sich für eine Serienfertigung des Radträgers ein kostengünstigeres Fertigungsverfahren.

Eine Möglichkeit zur Steigerung der Flexibilität wird in Punkt 6 dargestellt. Eine Integration von Sitzplätzen an den Halterungen bewirkt eine maximale Ausnutzung des Innenraums.

Bei der Gestaltung dieses Vorschlags ist das Patent DE 195 39 757 A1 (Siehe Kapitel 3, S. 15 f.) zu beachten. Bei diesem Änderungsvorschlag muss die Halterung entsprechend angepasst werden. Zusätzlich muss die Sicherheit des Fahrgasts, der in der unmittelbaren Nähe der Halterung und des Fahrrades sitzt, gewährleistet sein.

Die Funktion der seitlichen Verschiebung im Punkt 7 verursacht die größte Änderung an der Halterung. Für das Erreichen dieser Funktion kann die Halterung entsprechend der Lösungsvariante 3 (Siehe Kapitel 5.5.4, S. 37 f.) angepasst werden. Elemente, die diese Funktion ermöglichen können aus der Lösungsvariante 3 übernommen werden. Elemente wie die Teleskopschiene, sowie der bewegliche Unterbau des Fahrradmoduls bieten eine Möglichkeit, die Funktion umzusetzen. Dadurch kann die Erreichbarkeit der einzelnen Halter bzw. Fahrräder gesteigert werden. Durch den höheren Unterbau empfiehlt es sich, die N-Führungsschiene durch eine Laufschiene zu ersetzen (Siehe Kapitel 5.5.3, S. 35 f.)

Die Punkte 8 bis 11 werden für die Beschreibung zusammengefasst, da es sich hierbei um ähnliche Änderungen und Prinzipien handelt. Für eine Kostensenkung kann bei den Führungselementen auf Normteile bzw. am Markt erhältliche Lösungen zurückgegriffen werden. Eine weitere Verbesserung stellt die Verwendung eines rollengeführten Schlittens mit entsprechenden Führungsschienen dar. Der Verschleiß kann reduziert, die Lebensdauer, Wartungs- und Reparaturintervalle verlängert werden.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Kern dieser Arbeit ist die Entwicklung einer innovativen Fahrradabstellmöglichkeit in Schienenfahrzeugen. Die Fahrradhalterung soll dabei die gültigen Normen, Aspekte der passiven Sicherheit und veränderte Marktbedingungen, wie auch die Randbedingungen innerhalb des Fahrzeuglayouts berücksichtigen. Auslastungsschwankungen und unterschiedliche Fahrradtypen in Größe und Gewicht erfordern ein hohes Maß an Flexibilität.

Die steigende Attraktivität von Fahrrädern erfordert auch beim Transport von Fahrrädern in Schienenfahrzeugen neue Lösungen. Die Konstruktion berücksichtigt die Problematik von steigenden Fahrgastzahlen im Zusammenhang mit einer steigenden Zahl von Radfahren, die einen allgemein wachsenden Fahrradtransport im Eisenbahnsektor bewirken. Die Analyse des Stands der Technik, sowie eine Patentrecherche tragen zum Erstellen von Lösungsvarianten im Laufe des konstruktiven Entwicklungsprozesses bei. Faktoren wie das Alter der Fahrgäste, der geringe Platz im Eisenbahnwagen und Varianz von Fahrrädern spielen bei der Entwicklung eine entscheidende Rolle.

Eine Auflistung von den allgemeinen Anforderungen und Ansprüchen, die an die Fahrradhalterung gestellt werden, skizzieren die Grundlage für die spätere Konstruktion. Ein systematisches Vorgehen beim konstruktiven Entwicklungsprozess führt zu der Erstellung von Lösungsvarianten und unterschiedlichen Konzepten. Für die Auswahl der umzusetzenden Variante dient eine Bewertung nach ausgewählten Kriterien. Die nachfolgende konstruktive Umsetzung der Fahrradhalterung beginnt zunächst mit der allgemeinen Übersicht und wird von der Vorstellung der drei Baugruppen fortgeführt. Die einzelnen Baugruppen werden ausführlich beschrieben und mit Grafiken veranschaulicht. Eine detaillierte Erklärung der Funktionsweise und des Prinzips der Fahrradhalterung gibt Aufschluss über die Möglichkeiten, die die Entwicklung bietet. Die folgende Konstruktionskritik schließt den Entwicklungsprozess ab. Die Konstruktionskritik listet mögliche konstruktive Fehler und Verbesserungsvorschläge auf. Die Änderungsvorschläge werden umfassend beschrieben und legen die Grundlage für die weitere Entwicklung.

Das in der Arbeit beschriebene konstruktive Konzept für eine Fahrradhalterung in Schienenfahrzeugen zeigt eine Alternative für gegenwärtige Lösungen der Fahrradunterbringung im Eisenbahnsektor. Weitere mögliche Anwendungsgebiete finden sich in der allgemeinen Unterbringung von Fahrrädern. Dieses Konzept bietet Potenzial, in weiteren Verkehrsträgern, in Fahrradparkhäusern oder in anderen stationären Abstellmöglichkeiten installiert zu werden.

Verzeichnis der Bilder

Bild 1: Mehrzweckabteil in Regionalzügen	4
Bild 2: Längsausgerichteter Fahrradhalter	5
Bild 3: Spitzwinklig ausgerichteter Fahrradständer in Kombination mit Sitzen	6
Bild 4: Designstudie eines Fahrradhalters für Klappsitze	6
Bild 5: Platzverbrauch bei unterschiedlicher Halterpositionierung	7
Bild 6: Beispiel für die Variante 3	9
Bild 7: Vorderradhalterung des Fahrradhalters von Seisenbacher	10
Bild 8: Transportstellung der Fahrradhalterung von Seisenbacher	10
Bild 9: Darstellung des Patents DE 41 19 403 A1	13
Bild 10: Darstellung des Patents DE 10 2005 042 823 A1	13
Bild 11: Darstellung des Patents DE 299 12 604 U 1	14
Bild 12: Darstellung des Patents DE 103 35 677 A1	14
Bild 13: Darstellung des Patents EP 2 832 628 B1	15
Bild 14: Darstellung des Patents DE 195 39 787 A 1	16
Bild 15: Darstellung des Patents DE 10 2010 005 689 A1	16
Bild 16: Darstellung des Patents DE 10 2009 060 415 A1	16
Bild 17: Darstellung des Funktionsplans	22
Bild 18: Funktionsstruktur der ersten Ebene	24
Bild 19: Funktionsstruktur der zweiten Ebene	25
Bild 20: Skizze der Lösungsvariante 1	32
Bild 21: Skizze der Transportstellung der Variante 1	33
Bild 22: Skizze der Lösungsvariante 2	34
Bild 23: Skizze der Transportstellung der Variante 2	35
Bild 24: Skizze der Lösungsvariante 3	36
Bild 25: Skizze der Transportstellung der Variante 3	37
Bild 26: Prinzip der seitlichen Verschiebbarkeit von Variante 2	38
Bild 27: Prinzip der seitlichen Verschiebung der Variante 3	38
Bild 28: Beide Betriebspositionen der Fahrradhalterung	40
Bild 29: Darstellung beider Betriebspositionen im Doppelstockwagen von Alstom	41
Bild 30 oben: Draufsicht auf die untere Etage, Mitte: Isometrische Ansicht der unteren Etage, unten: Darstellung der Halterungen im Wagen mit sichtbarer 2. Etage	42
Bild 31: Maximale Anzahl an möglichen Stellplätzen im Doppelstockwagen von Alstom	43
Bild 32: Darstellung des Hubmoduls	44

Bild 33: Blick hinter die Abdeckung mit Sicht auf das Gegengewicht	45
Bild 34: Darstellung des Fahrradmoduls	45
Bild 35 links: Doppel-U-Form der Fahrradschiene, rechts: Einzelteile des Fahrradmoduls	46
Bild 36: Zwei Perspektiven des gesamten Vorderradmoduls mit angedeuteter Fahrradschiene	46
Bild 37: Übersicht der Einzelteile des Vorderradmoduls	47
Bild 38: Bewegungsablauf der Halterung abwärts	48
Bild 39 oben: Beladevorgang der Halterung, unten: Sitz der Räder in der Doppel-U-Schiene bei unterschiedlicher Reifenbreite	48
Bild 40 (1. – 6.): Ablauf der Sicherung des Vorderrads im Vorderradmodul.....	49
Bild 41: Bewegungsablauf der Halterung in die Transportposition	50
Bild 42: Darstellung der zwei markanten Stellen der Halterung in der Transportstellung .	51
Bild 43: Positionen der Änderungsvorschläge	53
Bild 44: Änderungsvorschlag der Radträgeraufnahme an der Fahrradschiene	55

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Patente von unterschiedliche Fahrradhaltesystemen.....	12
Tabelle 2: Übersicht von Passagieren und Fahrradtypen	18
Tabelle 3: Wichtige Maße von gängigen Fahrrädern	19
Tabelle 4: Umgebungsparameter des Wagens.....	19
Tabelle 5: Beschreibung des Funktionsplans	23
Tabelle 6: Zusammenfassung der Bewertungsmatrix	27
Tabelle 7: Zusammenfassung mit Wichtung der Bewertungsmatrix.....	28
Tabelle 8: Ordnungsschema, Morphologischer Kasten	30
Tabelle 9: Bewertungstabelle für die Variantenauswahl	39
Tabelle 10: Zusammengefasstes Ergebnis der Variantenbewertung	39
Tabelle 11: Beschreibung der Änderungen	54

Literatur- und Quellenverzeichnis

- [1] Wilke, S. Emissionen des Verkehrs. Umweltbundesamt.
<https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/emissionen-des-verkehrs#verkehr-belastet-luft-und-klima-minderungsziele-der-bundesregierung>
- [2] CO₂-Emissionen von Pkw: Zahlen und Fakten (Infografik) | Aktuelles | Europäisches Parlament. <https://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/society/20190313STO31218/co2-emissionen-von-pkw-zahlen-und-fakten-infografik>
- [3] 50 80 84-33 283 Bduu 497.2 Gepäckabteil im RSB-Design. Bahnbilder.de.:
<https://www.bahnbilder.de/bild/Deutschland~Wagen~Inneneinrichtungen/857825/50-80-84-33-283-bduu-4972.html>
- [4] Ein Blick in das Mehrwegabteil im Unterdeck des neuen Dosto-IC Steuerwagens. Bahnbilder.de. <https://www.bahnbilder.de/bild/deutschland~personenwagen~ic-doppelstock-zwischenwagen-ic-2/819628/ein-blick-in-das-mehrzwegabteil-im.html>
- [5] City Night Line. dictionaries and encyclopedias.: <https://de-academic.com/dic.nsf/dewiki/266450>
- [6] Wronski, Philipp. Innenausstattungsgegenstand zur Anordnung in Fahrzeugen des öffentlichen Verkehrs. Patent EP 2 832 628 B1. 18. 07 2014.
- [7] Neuwirth, Andrea, Prof. Dr. Winfried Baumberger, und Andreas Papenfuß. Fahrradständer, insbesondere für Eisenbahnwagen. Patent DE 41 19 403 A1. 17. 12 1992.
- [8] Evesque, Christian, und Ferdinand Evesque. Vorrichtung zum Festhalten eines Zweiradfahrzeuges. Patent DE 103 35 677 A1. 08. 09 2005.
- [9] Müller, Hubert. Schienenfahrzeug, insbesondere für den Nah- und Regionalverkehr. Patent DE 195 39 787 A1. 30. 04 1997.
- [10] Bröcker, Matthias. Fahrradhalteeinrichtung, insbesondere für öffentliche Verkehrsmittel. Patent DE 10 2010 005 689 A1. 28. 07 2011.
- [11] Bröcker, Matthias. Ausstattung für Verkehrsmittel, insbesondere Schienenverkehrsmittel. Patent DE 2009 060 415 A1. 30. 06 2011.
- [12] Waitz, Karl-Heinz, und Ralf Kortz. Fahrradhalter. Patent DE 10 2005 042 823 A1. 22. 03 2007.

- [13] Runde, Oliver. Präsentationsstand für Fahrräder. Patent DE 299 12 604 U 1. 27. 01 2000.
- [14] Fahrradfelge.com. Felgengröße beim Fahrrad – Wie misst man eine Fahrradfelge? 29. Oktober 2021. <https://www.fahrradfelge.com/felgengroesse-beim-fahrrad-wie-misst-man-eine-fahrradfelge/>.
- [15] Fahrrad Reifenmaße – Alle Informationen bei schwalbe.com. <https://www.schwalbe.com/technik-faq/reifenmasse/>.
- [16] ARC 1100 DICUT DB - Hochprofil Laufräder | DT Swiss. <https://www.dtswiss.com/de/laufraeder/laufraeder-strasse/aero/arc-1100-dicut-db>.
- [17] Naefe, Paul, und Michael Kott. Konstruktionslehre für Einsteiger*innen. Springer Vieweg Wiesbaden, 2022.
- [18] Naefe, Paul, und Jörg Luderich. Konstruktionsmethodik für die Praxis. Springer Vieweg Wiesbaden, 2020.
- [19] Bender, Beate, und Kilian Gericke. Pahl/Beitz Konstruktionslehre. Springer Vieweg Berlin, Heidelberg, 2021.
- [20] Bisping, Bernhard. Entwicklung und Konstruktion eines Moduls für Mobilitätsunterstützungssysteme zur Überwindung von Hindernissen und Treppen in der Nahfeldumgebung des Menschen. Masterarbeit. TU Ilmenau. 18.12.2012

Verzeichnis der Anlagen

A	Inhalte des USB-Sticks.....	64
B	Anforderungsliste	65
C	Bewertungsmatrix	70
D	Ordnungsschemen der Lösungsvarianten	71
E	Technische Zeichnungen und Stückliste	75

Anlagen

A Inhalte des USB-Sticks

- Diplomarbeit (.pdf)
- Patente
- Technische Zeichnungen (.pdf)
- CAD Konstruktionen – CATIA V5 Dateien

B Anforderungsliste

Auftragsnummer:	-
Datum:	09.07.2023
Auftraggeber:	Alstom Transportation Germany GmbH
	Westsächsische Hochschule Zwickau WHZ
Bearbeiter:	Florian Presia
Konstruktionsart:	Neukonstruktion (konzeptioneller Entwurf)
Produkt:	Innovative Fahrradabstellmöglichkeit in Schienenfahrzeugen

Zweck
Es ist eine innovative Fahrradabstellmöglichkeit zu entwickeln, die in den gängigen Schienenfahrzeugen im Regional- und Fernverkehr einsetzbar ist. Die Halterung soll dabei alle gängigen Fahrradtypen aufnehmen können und sie sicher im Fahrzeug verstauen. Dabei hilft eine Unterstützung selbst schwere E-Räder mit wenig Kraftaufwand in die Transportposition zu befördern.

Funktion				
Nr.	Wertung	Anforderung	Wert	Bemerkung
1	F	Fahrräder vertikal an der Wagenwand halten		
2	F	Unterstützungsfunktion für die Positionsänderung des Fahrrads von der Horizontalen in die Vertikale		Festlegung auf vertikale Fahrradhalterung
3	F	Unterstützungsfunktion für die Positionsänderung des Fahrrads von der Vertikalen in die Horizontale		
4	F	Aufnahme von Fahrrädern verschiedener Rahmentypen		Diamant; Y; Trapez; Wave; Mountainbike; Tiefeinstieg
5	F	Aufnahme von Fahrrädern verschiedener Typen		
6	M, A	Aufnahme von Fahrrädern verschiedener Felgenschulterdurchmesser	400 mm – 622 mm	20“ – 28“
7	M,A	Aufnahme von Fahrrädern verschiedener Reifendurchmesser	max. 760 mm	29“
8	M, A	Aufnahme von Fahrrädern verschiedener Höhen von Felge mit Reifen	max. 110 mm	Gravelräder mit Aero-Felgen
9	M, A	Aufnahme von Fahrrädern verschiedener Felgenhöhen	max. 80 mm	
10	M	Aufnahme von Fahrrädern verschiedener Speichenabstände	min. 30 mm	
11	M, A	Aufnahme von Fahrrädern verschiedener Reifenbreiten	max. 66 mm	
12	M	Aufnahme von Fahrrädern verschiedener Längen	max. 2000 mm	
13	M	Aufnahme von Fahrrädern verschiedener Höhen	max. 1200 mm	
14	M	Aufnahme von Fahrrädern verschiedener Lenkerbreiten	max. 730 mm	

15	F	Aufnahme von Fahrrädern verschiedener Materialien bei Felgen und Rahmen		Aluminium, Stahl, CFK
16	F	Anpassung der Halterung an unterschiedliche Fahrräder		
17	F, A	Aufnahme von Fahrrädern verschiedenen Gewichts		mit Gepäck
18	M, A	Maximalbelastung (Zusatzbelastung)	50 kg	beim Hub
19	F	Fixierung des Vorderrades verschiedener Fahrräder		
20	W	Anpassung der Fixierung an unterschiedliche Vorderräder		
21	W	Haltefunktion für das Abnehmen von am Fahrrad befindlichen Gepäcks		
22	M	Skalierbarkeit der Halterung im Schienenfahrzeug		
23	F	Hohe Beständigkeit der Halterung		
24	W	Lademöglichkeit für E-Räder		
25	W	Diebstahlschutz: Halterung abschließbar		
26	W	Seitliches Verschieben der gesamten Halterung		
27	W	Anpassbar an Auslastungsschwankungen		

Struktur				
Nr.	Wertung	Anforderung	Wert	Bemerkung
28	F	Sicherer Aufbau der Konstruktion		
29	F	Robuster Aufbau		
30	F	Modularer Aufbau der Halterung: Trennung von Hebe-, Aufnahmevorrichtung und Vorderradhalterung		
31	M	maximale Bauhöhe	H = 2070 mm	
32	F	Einfacher Aufbau		
33	F	Schutz der Fahrräder vor Beschädigungen		
34	F	Nutzung von beständigen Materialien		Metalle, Kunststoffe
35	F	Nutzung von im Zug vorhandenen Energiequellen		
36	F	Nutzung von mechanischen Prinzipien		
37	F	Nutzung der im Zug vorhandenen Befestigungsmöglichkeiten		
38	W	Für jedes Schienenfahrzeug nachrüstbar		
39	M	Platzsparender Aufbau		
40	M	Verhinderung des Eindringens von Reinigungsmitteln in sensible Baugruppen		

Umgebung				
Nr.	Wertung	Anforderung	Wert	Bemerkung
41	M, A	Lage im Fahrzeug spitzwinklig zur Fahrzeuglängsachse	< 45°	
42	W	Transport vieler Fahrräder auf engem Raum ermöglichen		
43	W	Stetigen Zugriff auf das Fahrrad gewährleisten		
44	W	Fahrtrichtungsunabhängigkeit		
45	M	Verhindern von Beschädigungen anderer Fahrräder in ihren Halterungen		
46	W	Gute Erreichbarkeit jedes Fahrrades ermöglichen		
47	W	Geringer Platzbedarf der Halterung		
48	M	Verwendbarkeit bei unterschiedlichen Temperaturen gewährleisten		
49	M	Verwendbarkeit bei unterschiedlichem Luftdruck gewährleisten		
50	M	Verwendbarkeit bei unterschiedlicher Luftfeuchtigkeit gewährleisten		
51	M	Berücksichtigen der Randbedingungen innerhalb des Fahrzeuglayouts		

Bedienung				
Nr.	Wertung	Anforderung	Wert	Bemerkung
52	F	Einfache Handhabung		
53	F	Logischer Aufbau der Halterung		
54	F	Ergonomische Bedienung		
55	F	Geringe Geräuschentwicklung bei der Bedienung		
56	F	Minimaler Kraftaufwand bei der Bedienung und Anpassung an individuelle Fahrräder		
57	F	Bedienung während der Fahrt		
58	F	Unkomplizierte Verwendung		

Sicherheit				
Nr.	Wertung	Anforderung	Wert	Bemerkung
59	F	Sicherheit im Crashfall		
60	F	Vermeiden von Stolperkanten		
61	F	Fixierung in den Endlagen		
62	F	Standhalten von auftretenden Beschleunigungskräften		
63	F	Standhalten von auftretenden Quer-, Längs- und Vertikalkräften		
64	F	Einhalten der gesetzlich vorgeschriebenen Fluchtkorridore		
65	F	Einhalten der passiven Sicherheit		
66	F	Keine scharfen Kanten		

Entwicklung				
Nr.	Wertung	Anforderung	Wert	Bemerkung
67	F	Unterlagen - Variantenerstellung - Bewertung und Auswahl - Technische Zusammenbauzeichnung - Explosionszeichnung - Stückliste		
68	F	Festigkeitsnachweis wesentlicher Bauteile		
69	W	Niedrige Kosten		

Fertigung				
Nr.	Wertung	Anforderung	Wert	Bemerkung
70	F	Nutzung von gängigen Fertigungsverfahren		
71	F	Nutzung von Normteilen		
72	F	Einfache Fertigung		
73	W	Verwendung von Halbzeugen		
74	W	Niedrige Kosten		

Montage				
Nr.	Wertung	Anforderung	Wert	Bemerkung
75	F	Montage in spezialisierten Werkstätten für Schienenfahrzeuge		
76	F	Montage bei Herstellern von Schienenfahrzeugen		
77	F	Montage in unterschiedlichen Schienenfahrzeugen und Innenausstattungen		
78	F	Einfache Montage		
79	F	Niedrige Kosten		

Wartung				
Nr.	Wertung	Anforderung	Wert	Bemerkung
80	F	Zugänglichkeit von Schmierstellen gewährleisten		
81	F	Verwendung von Reinigungsmitteln ermöglichen		
82	F	Einfache Wartung		
83	F	Wartungskosten niedrig halten		

Reparatur				
Nr.	Wertung	Anforderung	Wert	Bemerkung
84	F	Austauschbarkeit von schadhafte Teilen ermöglichen		
85	F	Austausch von Verschleißteilen ermöglichen		
86	F	Zugänglichkeit der Antriebseinheit gewährleisten		
87	F	Antriebseinheit unabhängig austauschbar		
88	F	Austauschbarkeit von Einzelteilen ermöglichen		

Legende		
	F – feste Anforderung M – Mindest- bzw. Maximalanforderung W – Wunschanforderung A – Änderung	Q: Quelle der Anforderung B: Bearbeiter

C Bewertungsmatrix

Anlage C - Tabelle 1: Bewertungsmatrix gesamt

	Kriterium	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Σ	
1	Aufnahme verschiedener Fahrräder/ hohe Variabilität		1	1	2	2	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	27
2	Bauhöhe (H = 2070 mm)	1		1	2	2	1	2	2	1	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	28
3	Hohe Sicherheit	1	1		2	2	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	27
4	Einfacher Aufbau	0	0	0		1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	20
5	Einfache Handhabung	0	0	0	1		2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	20
6	Transportschutz	1	1	1	1	0		2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	22
7	Geringer Zeitaufwand beim Bedienen	0	0	0	1	1	0		0	0	0	1	1	1	2	2	2	2	2	2	15
8	Ergonomische Bedienung	0	0	0	1	1	1	2		0	0	1	1	1	2	2	2	2	2	2	18
9	Hohe Beständigkeit/ Lebensdauer	1	1	1	1	1	1	2	2		1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	26
10	Robustheit gegen Umwelteinflüsse	1	1	1	1	1	1	2	2	1		2	1	2	2	2	2	2	2	2	26
11	Geringer Platzbedarf	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0		1	2	2	2	2	2	2	2	21
12	Skalierbarkeit	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1		1	2	2	2	2	2	2	21
13	Geringes Gewicht	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1		2	2	2	2	2	2	15
14	Einfache Fertigung	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		1	1	1	1	1	4
15	Einfache Montage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		1	1	1	1	4
16	Einfache Wartung	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1		1	1	1	4
17	Einfache Reparatur	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1		1	1	4
18	Kosten	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1		1	4
Σ																				306	

Anhang C - Tabelle 2: Bewertungsmatrix ausgewählter Kriterien

	Kriterium	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Σ
1	Aufnahme verschiedenster Fahrräder/ hohe Variabilität		1	1	2	2	1	2	2	1	1	1	14
2	Bauhöhe (H = 2070 mm)	1		1	2	2	1	2	2	1	1	2	15
3	Hohe Sicherheit	1	1		2	2	1	2	2	1	1	1	14
4	Einfacher Aufbau	0	0	0		1	1	1	1	1	1	1	7
5	Einfache Handhabung	0	0	0	1		2	1	1	1	1	1	8
6	Transportschutz	1	1	1	1	0		2	1	1	1	1	10
7	Geringer Zeitaufwand beim Bedienen	0	0	0	1	1	0		0	0	0	1	3
8	Ergonomische Bedienung	0	0	0	1	1	1	2		0	0	1	6
9	Hohe Beständigkeit/ Lebensdauer	1	1	1	1	1	1	2	2		1	1	12
10	Robustheit gegen Umwelteinflüsse	1	1	1	1	1	1	2	2	1		2	13
11	Geringer Platzbedarf	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0		8
Σ													110

D Ordnungsschemen der Lösungsvarianten

Mit Hilfe des Morphologischen Kastens (Siehe Kapitel 5.4, S. 28 ff.) sind die Lösungsvarianten gestaltet worden. Der entsprechende Morphologische Kasten jeder Lösungsvariante ist nachfolgend aufgeführt. Zur besseren Zuordnung sind die entsprechenden Module in eigenen Farben gekennzeichnet.

Kennzeichnung

- **Orange** sind Elemente, die für alle drei Module verwendet werden.
- **Gelb** sind gemeinsam vom Fahrrad- und Hubmodul verwendete Elemente markiert
- **Rot** gekennzeichnete Felder gelten ausschließlich dem Hubmodul.
- **Blau** sind die Komponenten, die im Fahrradmodul angewendet werden.
- **Grün** werden die Elemente gekennzeichnet, die dem Vorderradmodul zugetragen werden.
- **Lila** kennzeichnet die Elemente, die für das Fahrrad- und das Vorderradmodul verwendet werden

Bei ähnlicher Wirkweise und Funktion sind verschiedene Elemente kategorieübergreifend mit der entsprechenden Farbe hervorgehoben.

Varianten

1. Seilzugsystem (Anlage D - Tabelle 1 S. 72)
2. Flachriemensystem (Anlage D - Tabelle 2 S. 73)
3. Spindeltriebssystem (Anlage D - Tabelle 3 S. 74)

Anlage D - Tabelle 1: Ordnungsschema von Lösungsvariante 1

Verbind.	Feste Verbindungen	Schrauben	Nieten	Schweißen	Falzen	Kleben	Klemmen	Löten		
	Bewegliche Kopplungen	Lagerung	Führung							
Bedienung	Bedienart	Halten	Drücken	Ziehen	Schieben	Kurbeln	Pumpen			
	Anzahl Betätigung	Einmalige Betätigung	Zweimalige Betätigung	Mehrmalige Betätigung						
	Bedien-element	Druck-schalter	Drucktaster	Kippschalter	Wippschalter	Drehschalter	Fußschalter	Tastschalter	ohne	
Antrieb	Antriebsart	mechanisch	elektrisch	hydraulisch	pneumatisch					
	Energiezufuhr	intern	extern	ohne						
Geh.	Schutz	offen	geschlossen	teilge-schlossen						
Hub-modul	Hubelement	Seilzug	Spindel	Zahnstange	Kette	Flachriemen	Keilriemen	Zahnriemen	Teleskop-zylinder	Teleskop-spindel
Fahrrad-modul	Aufnahme-element	Bügel	V-Form	Doppel-U-Form	U-Form					
	Führungselement	N-Schiene	Laufrollen-schiene	U-Schiene	ohne					
Vorder-radmodul	Fixierungselement	Haken	Spanngurt	Klettver-schluss	Zahnriemen	Schraub-klemme	Klemme			
	Arretierung	Rastbolzen	Klemmhebel	Spannhebel	Spann-schraube	Steckbolzen	Spannzange	Rastschiene		
Skalierung	Feste Verankerung	C-Schiene	Profilschiene							
	Bewegliche Verankerung	Gleitführung	Käfigschie-nenführung	Lineargleit-lager	Teleskopschie-nenführung	Laufrollen-führung	Linearschie-beeinheit			

Anlage D - Tabelle 1: Ordnungsschema von Lösungsvariante 2

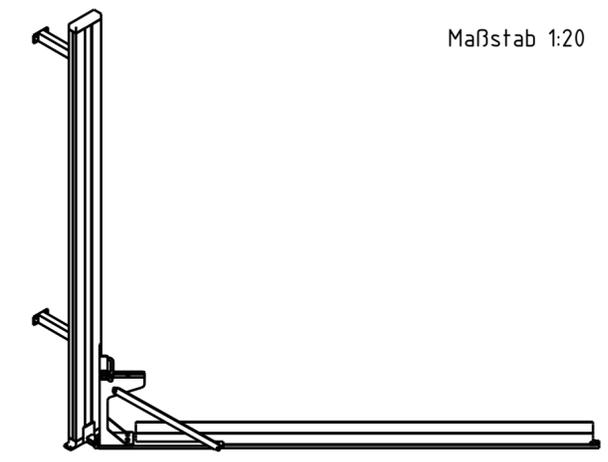
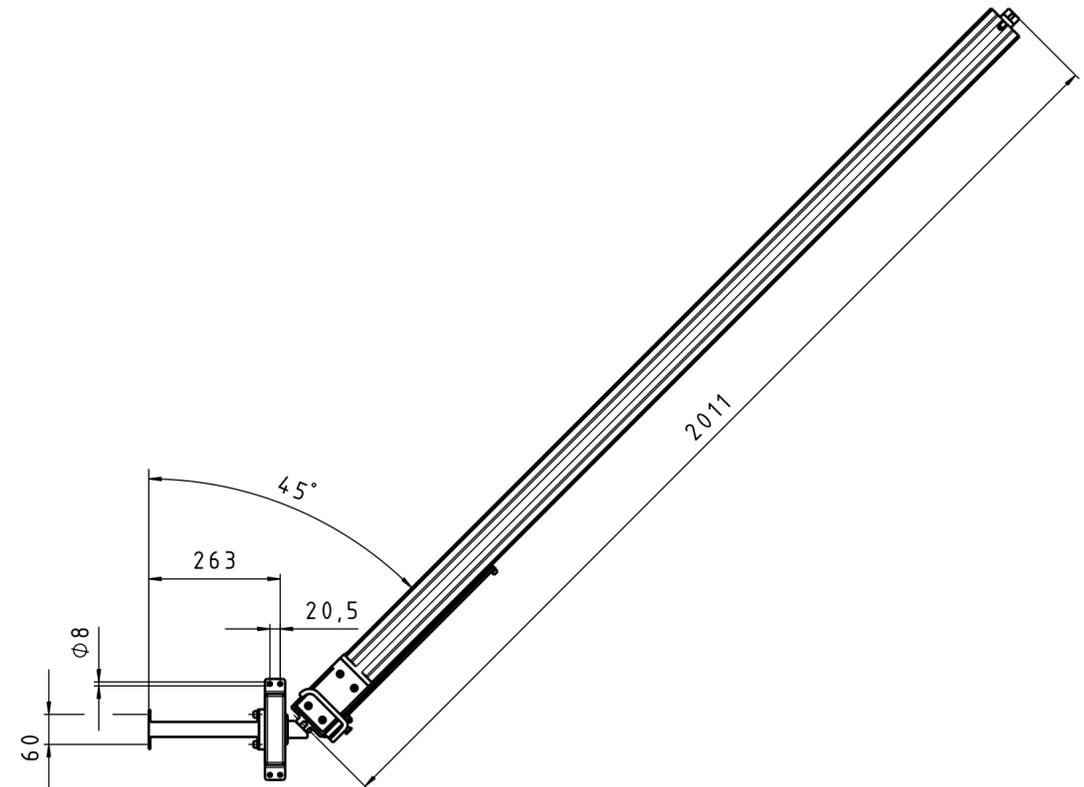
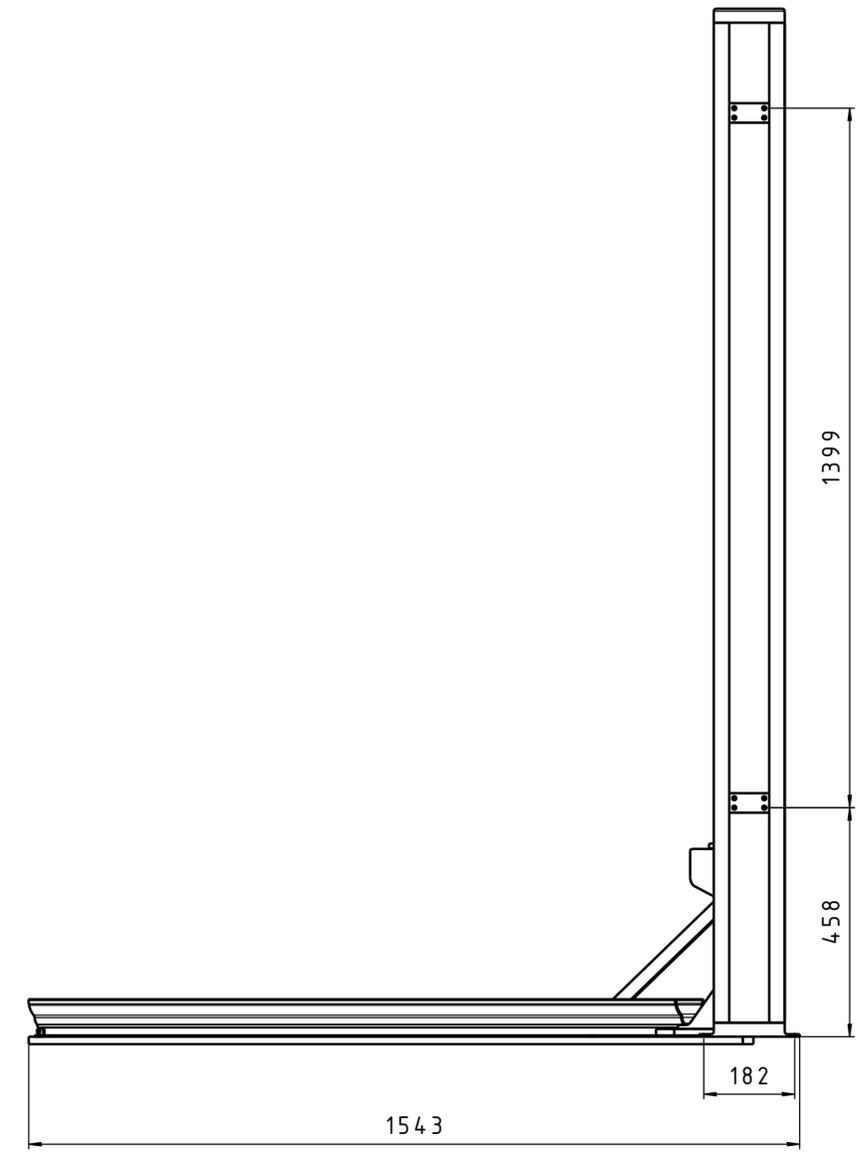
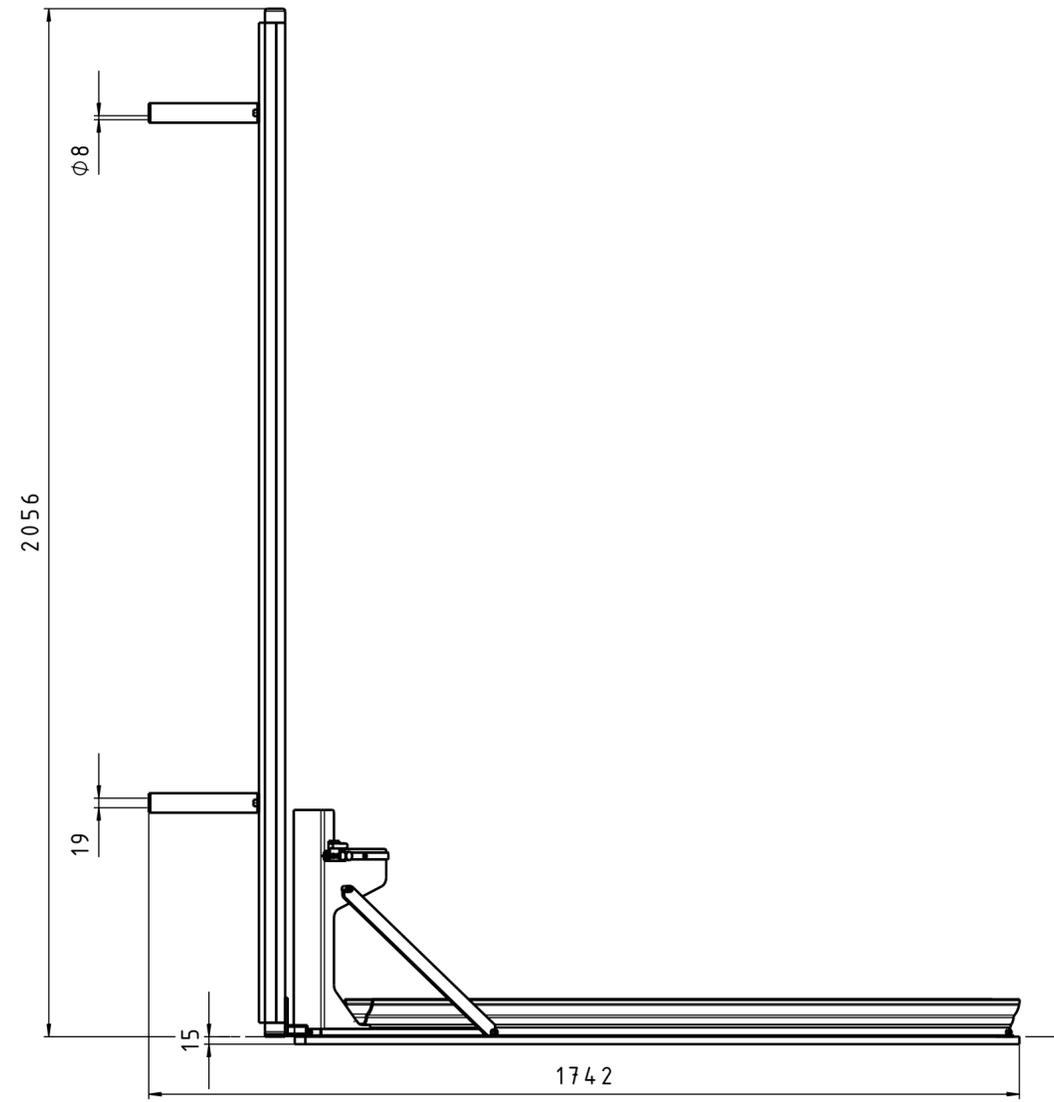
Verbind.	Feste Verbindungen	Schrauben	Nieten	Schweißen	Falzen	Kleben	Klemmen	Löten		
	Bewegliche Kopplungen	Lagerung	Führung							
Bedienung	Bedienart	Halten	Drücken	Ziehen	Schieben	Kurbeln	Pumpen			
	Anzahl Betätigung	Einmalige Betätigung	Zweimalige Betätigung	Mehrmalige Betätigung						
	Bedien-element	Druckschalter	Drucktaster	Kippschalter	Wippschalter	Drehschalter	Fußschalter	Tastschalter	ohne	
Antrieb	Antriebsart	mechanisch	elektrisch	hydraulisch	pneumatisch					
	Energiezufuhr	intern	extern	ohne						
Geh.	Schutz	offen	geschlossen	teilgeschlossenen						
Hub-modul	Hubelement	Seilzug	Spindel	Zahnstange	Kette	Flachriemen	Keilriemen	Zahnriemen	Teleskopzylinder	Teleskopspindel
Fahrrad-modul	Aufnahme-element	Bügel	V-Form	Doppel-U-Form	U-Form					
	Führungselement	N-Schiene	Laufrollenschiene	U-Schiene	ohne					
Vorder-radmodul	Fixierungselement	Haken	Spanngurt	Klettverschluss	Zahnriemen	Schraubklemme	Klemme			
	Arretierung	Rastbolzen	Klemmhebel	Spannhebel	Spannschraube	Steckbolzen	Spannzange	Rastschiene	ohne	
Skalierung	Feste Verankerung	C-Schiene	Profilschiene							
	Bewegliche Verankerung	Gleitführung	Käfigschiennenführung	Lineargleitlager	Teleskopschiennenführung	Laufrollenführung	Linearschiebeeinheit			

Anlage D - Tabelle 1: Ordnungsschema von Lösungsvariante 3

Verbind.	Feste Verbindungen	Schrauben	Nieten	Schweißen	Falzen	Kleben	Klemmen	Löten		
	Bewegliche Kopplungen	Lagerung	Führung							
Bedienung	Bedienart	Halten	Drücken	Ziehen	Schieben	Kurbeln	Pumpen			
	Anzahl Betätigung	Einmalige Betätigung	Zweimalige Betätigung	Mehrmalige Betätigung						
	Bedien-element	Druckschalter	Drucktaster	Kippschalter	Wippschalter	Drehschalter	Fußschalter	Tastschalter	ohne	
Antrieb	Antriebsart	mechanisch	elektrisch	hydraulisch	pneumatisch					
	Energiezufuhr	intern	extern	ohne						
Geh.	Schutz	offen	geschlossen	teilgeschlossenen						
Hub-modul	Hubelement	Seilzug	Spindel	Zahnstange	Kette	Flachriemen	Keilriemen	Zahnriemen	Teleskopzylinder	Teleskopspindel
Fahrrad-modul	Aufnahme-element	Bügel	V-Form	Doppel-U-Form	U-Form					
	Führungselement	N-Schiene	Laufrollenschiene	U-Schiene	ohne					
Vorder-radmodul	Fixierungselement	Haken	Spanngurt	Klettverschluss	Zahnriemen	Schraubklemme	Klemme			
	Arretierung	Rastbolzen	Klemmhebel	Spannhebel	Spannschraube	Steckbolzen	Spannzange	Rastschiene		
Skalierung	Feste Verankerung	C-Schiene	Profilschiene							
	Bewegliche Verankerung	Gleitführung	Käfigschiennenführung	Lineargleitlager	Teleskopschiennenführung	Laufrollenführung	Linearschiebeeinheit			

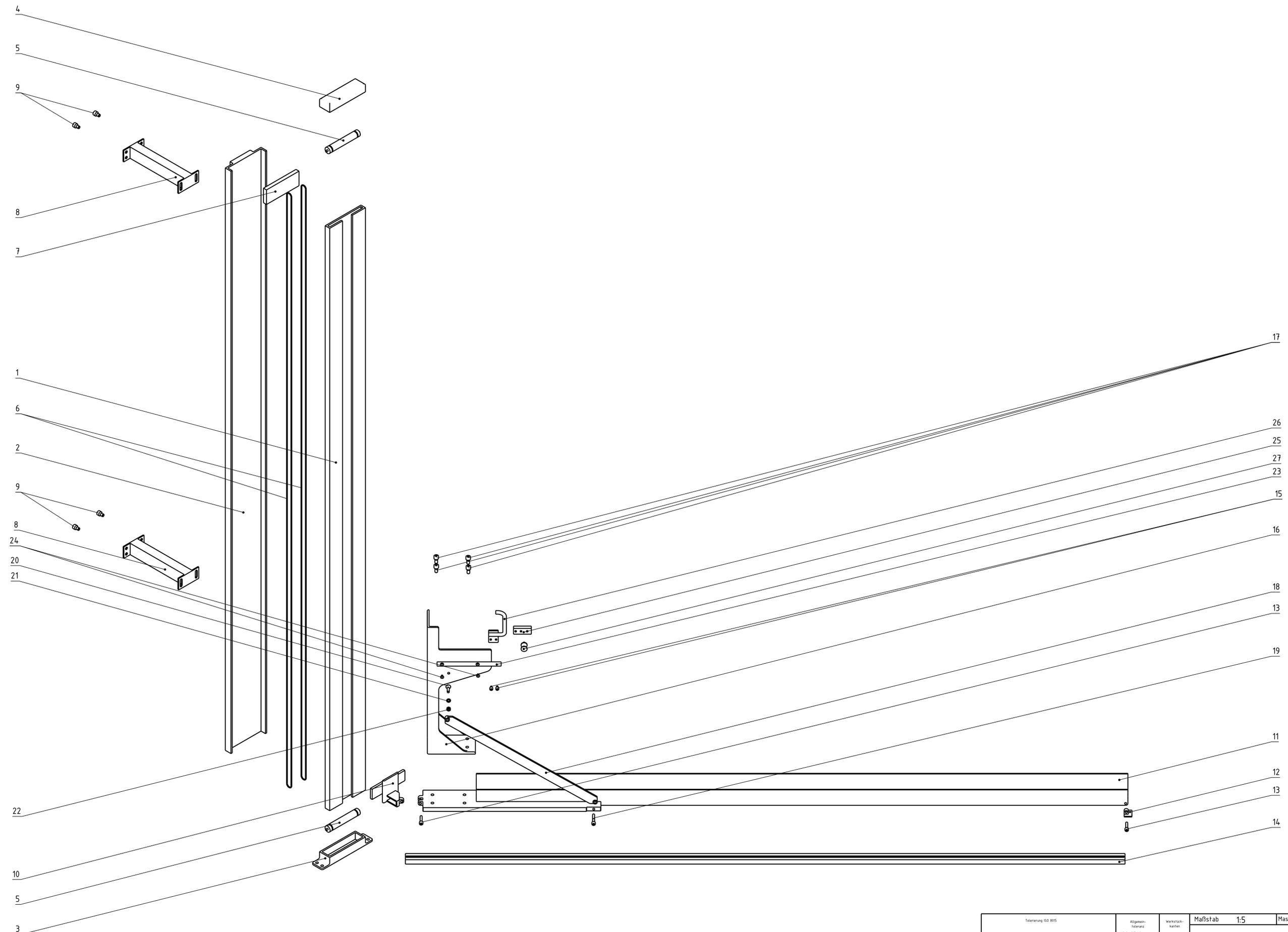
E Technische Zeichnungen und Stückliste

- Zusammenbauzeichnung DA - FP - 001 - 001 Blatt 1 / 4
- Explosionszeichnung DA - FP - 001 - 001 Blatt 2 / 4
- Stückliste DA - FP - 001 - 001 (St) Blatt 3 / 4
- Fahrradhalter Seriell DA - FP - 001 - 001 Blatt 4 / 4



Maßstab 1:20

Tolerierung ISO 8015		Allgemein-Toleranz ISO 2768-		Werkstück-kanten DIN ISO 13715		Maßstab 1:10		Masse - kg	
		Datum	Name						
		Bearb.	09.07.2023	Florian Presis					
		Gepr.							
		Norm							
			CATIA V5-6R2016						
			 WHZ University of Applied Sciences		DA-FP-001-001		Blatt 1		
Zust.	Anderung	Datum	Name	Dateiname			4 Bl.		



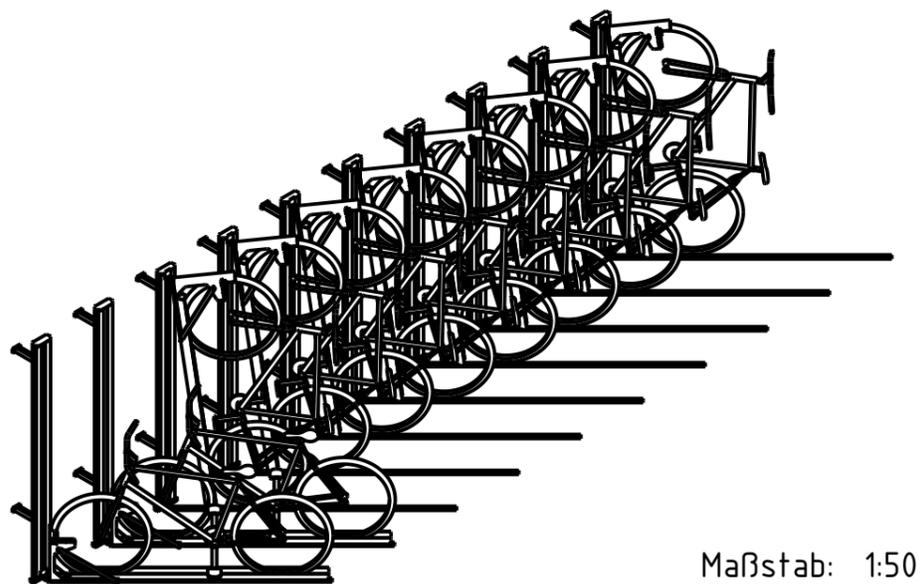
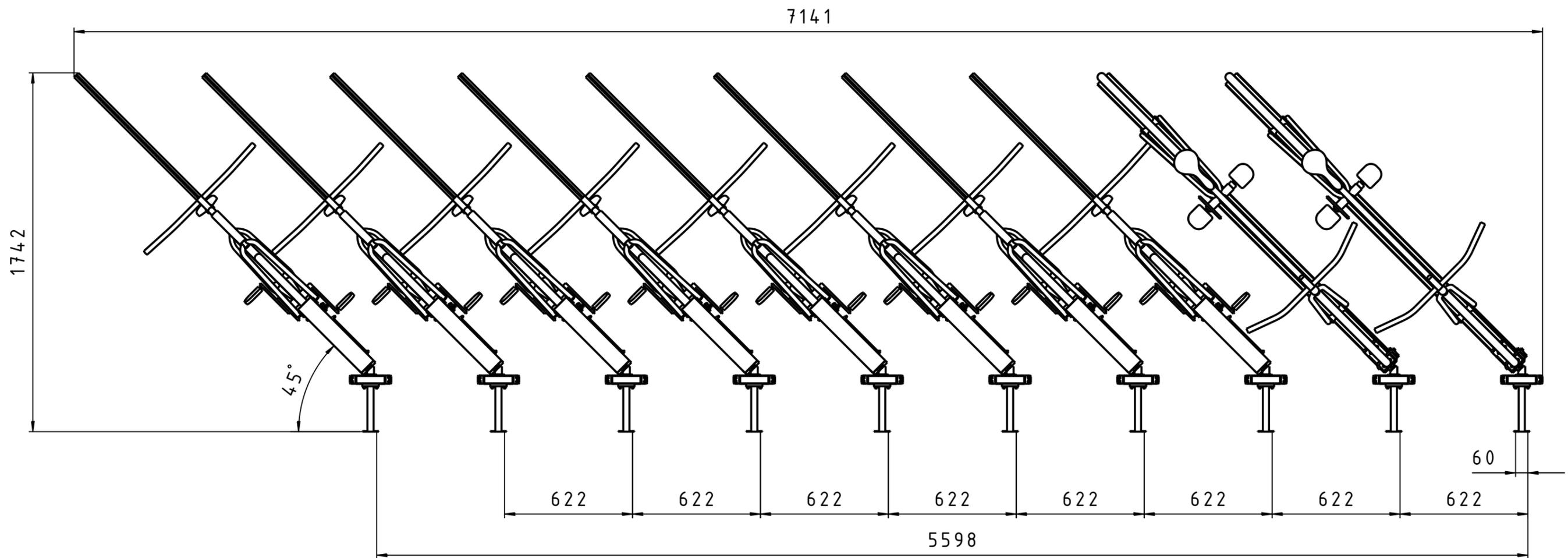
4
5
9
8
7
1
6
2
9
8
24
20
21
22
10
5
3

17
26
25
27
23
15
16
18
13
19
11
12
13
14

Technisierung ISO 9015		Algemein- toleranz ISO 2768-	Werkstück- toleranz DN ISO 13115	Maßstab 1:5	Masse - kg
		Datum	Name	-	
		Bearb. 09.07.2023	Florian Prestin	Explosionszeichnung	
		Gepr.		Fahrradhalter	
		Norm			
		CATIA V5-6R2016			
				DA-FP-001-001	
				Blatt 2 / 4 Bl.	
Zust.	Anderung	Datum	Name	Datename	

1	Führungsschiene groß	1		
2	Abdeckung	1		
3	Endstück unten	1		
4	Endstück oben	1		
5	Umlenkrolle	2		
6	Seil	2		
7	Gegengewicht	1		
8	Distanzstück	2		
9	Zylinderkopfschraube M8x12	4		DIN 912
10	Aufzugsschlitten	1		
11	Fahrradschiene	1		
12	Gleitwagen	1		
13	Zylinderkopfschraube M6x30	2		DIN 912
14	N-Führungsschiene	1		
15	Zylinderkopfschraube M5x8	2		DIN 912
16	Radträger	1		
17	Zylinderkopfschraube M8x16	4		DIN 912
18	Stützstrebe	1		
19	Zylinderkopfschraube M6x40	1		DIN 912
20	Senkschraube M6x25	1		DIN 7991
21	Scheibe 6x11	1		ISO 7092
22	Sechskantmutter M6	1		ISO 4032
23	Profilschiene	1		
24	Senkschraube M4x8	2		DIN 7991
25	Profilschlitten	1		
26	Haken	1		
27	Rastbolzen	1		
Pos.	Benennung	Stück	-	Bemerkung

			Datum	Name		Fahrradhalter Stückliste	
		Bearb.	09.07.2023	Florian Presia			
		Gepr.					
		Norm					
			CATIA V5-6R2016				
			 WHZ University of Applied Sciences		DA-FP-001-001 (St)		Blatt
						3	
						4	Bl.
Zust.	Änderung	Datum	Name	Dateiname			



Tolerierung ISO 8015		Allgemeintoleranz ISO 2768-	Werkstückkanten DIN ISO 13715	Maßstab 1:20	Masse - kg
				-	-
		Datum	Name	Fahrradhalter Seriell	
		Bearb. 09.07.2023	Florian Presia		
		Gepr.			
		Norm			
		 WHZ University of Applied Sciences		DA-FP-001-001	Blatt 4 4 Bl.
Zust.	Änderung	Datum	Name	Dateiname	